حفاظت و استحکام‌بخشی الواح با ملاط گل مسلح

افشین ابراهیمی
دانش‌آموختهٔ دکتری حفاظت و مرمت آثار تاریخی
عضو هیأت علمی پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری

1. ebrahimi.researcher@yahoo.com

چکیده

بخش قابل توجهی از الواحی که تاکنون به دست آمده‌اند، کم و بیش متحمل آسیب‌های عدیده‌ای هستند و بسیاری از آنها به تقویت و استحکام‌بخشی نیاز دارند. شکستگی، ترکیدگی و گسیختگی، شایع‌ترین ضعف‌های الواح هستند. شدت این ضعف‌ها به عوامل ساختاری (ماهیت / کیفیت تولید) و غیر ساختاری (شرایط قبل و پس از کاوش) بستگی دارد. بی توجهی به نوع نیاز حفاظتی الواح گلین، موجب شدت یافتن و تسریع تخریب آنها می‌شود. الواح به‌خودی خود ساختار خام و ضعیفی دارند. ممکن است جدا از خام بودن، بعضاً به‌خوبی هم عمل‌آوری و آماده‌سازی نشده باشند و همین مسئله، موضوع استحکام‌بخشی را بغرنج‌تر می‌کند؛ حتی شاید در محیطی که قرار گرفته‌اند، تحت فشار بیشتری واقع شده باشند. این‌ها همه چالش‌های بزرگی برای حفاظت هستند. روش-های معمول برای تحکیم و استحکام‌بخشی الواح گلین (پخت کوره‌ای / تثبیت پلیمری) هر کدام دارای محاسن و معایبی‌اند و موافقان و مخالفان خود را دارند. اهمیت و اعتبار فوق العادۀ الواح از یک سو و نیازهای حفاظتی حساس آنها از دیگر سو ایجاب می‌کند که جدا از این روش‌ها، به شیوه‌های دیگری نیز برای نگهداری و تقویت این قبیل مصنوعات خام اندیشید، بگونه‌ای که هم سازگاری بیشتری با مبانی و ضوابط حفاظتی داشته باشند و هم ساده‌تر، کم هزینه‌تر و کم خطر‌تر باشند. روش‌های مرسوم برای تقویت و استحکام‌بخشی الواح، یا برگشت ناپذیر هستند و یا برگشت پذیری بغرنج و توأم با خسارت دارند. این تحقیق با نگاه کاربردی در پی رفع نقص یک موضوع است و می کوشد در قالب استدلال استقرایی (نگاه از جزء به کل) و بر پایۀ روش تجربی و یافته‌اندوزی به روش ترکیبی (کتابخانه‌ای، آزمایشگاهی، میدانی) پاسخگوی سوال اصلی یعنی چگونگی نقش و تأثیر تجارب حفاظتی مصالح گلین برای بهینه‌سازی فرآیند تحکیم و استحکام‌بخشی الواح باشد. برای تحکیم و استحکام‌بخشی الواح گلین (به عنوان متغیر تأثیرپذیر)، استفاده از مواد و عناصر تقویتی و همچنین اصلاح روش نگهداری (به عنوان متغیرهای تأثیرگذار) مد نظر قرار گرفته است. بهره گیری از ملاط گل مسلح به دو روش درزبندی و قاب‌بندی، ابتکاری برای خلق شرایط حفاظتی آرمانی‌تر است. این فرضیه مبتنی بر دانشی یک صد ساله و تجاربی است که از گذشته‌های دور تا به امروز برای حفاظت و بهینه‌سازی مصالح گلین با استفاده از مواد افزودنی و استحکام‌بخش طبیعی و مصنوعی دنبال شده است. نتایج تحقیق، این گمان را باورپذیر نشان داده است.

واژگان کلیدی: الواح، گل نبشته، هفت تپه، ملاط، غنی سازی، استحکام‌بخشی.

مقدمه

هزاران سال پیش از آنکه انسان، گِل را برای ساخت الواح به‌کار برد، از این مادهٔ طبیعی به عنوان مصالح ساختمانی استفاده می‌کرده است. بدون شک گل در توسعه و تکامل هنر معماری و جلوه‌ای از تمدن و شهرنشینی انسان، حضوری تأثیرگذار و غیر قابل انکار داشته است. هرچه قدر به گذشته بر می‌گردیم کاربرد و اهمیت گل را در نقش یک مادهٔ ساختمانی بیشتر احساس می-کنیم. تمدن‌های بسیاری بر پایهٔ استفاده از گل برای خانه‌سازی و رهایی از کوچ‌نشینی شکل گرفته‌اند. به ویژه در سواحل رودخانه-های بزرگ که زمین‌های حاصل‌خیز و آبرفتی این مناطق هم باعث رونق کشاورزی و شکار می‌گردیده و هم مادهٔ ساختمانی اولیه و مناسبی را در اختیار انسان می‌گذاشته تا به همراه خار و خاشاک، اولین نمونه‌های خشت را بسازد (Houben 1994, 6) . در حقیقت تحول از آن زمان آغاز شد که انسان به طبیعت خاک پی برد، آن را با آب درآمیخت و از شکل‌پذیری گل جهت تأمین سرپناه و پاره‌ای نیازهای زندگی بهره جست. در ابتدا دیوارها و کف گودال‌هائی را که پس از رهایی از غارنشینی مأمن اولیه او شده بودند، گل اندود کرد. بعدها چینه ساخت و دیوار به پا نمود. چینه‌ها اندک اندک به خشت‌های دست‌ساز در ابعاد بزرگ تبدیل شدند. استفاده از مواد افزودنی طبیعی مثل: خاشاک و سنگ ریزه برای تقویت چینه‌ها و خشت‌ها، استفاده از گل قرمز رنگ اخرا برای تزئین سطح اندودها و پنجه مال کردن خشت‌ها و چینه‌ها برای اتصال بهتر با ملاط، ابتکارات بعدی او بودند. اما اساسی‌ترین اقدام وی همانا ساخت قالب خشت‌زنی بود و اینگونه جهشی بزرگ در ساختمان‌سازی با استفاده از خشت‌های قالبی صورت گرفت. به دنبال آن، ابعاد و اشکال خشت‌ها متنوع‌تر گردید، سرعت عمل در تولید مصالح افزایش یافت، بر استحکام مصالح افزوده شد و فرم-های معماری از نظم بیشتری برخوردار گردیدند (برداشت آزاد).

[۱]در بررسی بستر تاریخی تحقیق، صحبت از مصالح گلین بیراه نیست و بلکه اجتناب ناپذیر است. چرا که سابقهٔ ذهنی و آشنایی دراز مدت انسان با چنین مصالحی است که زمینهٔ فکری ابداع الواح گلین را جهت نگارش و وقایع‌نگاری برای بشر به ارمغان آورد تا از ویژگی‌های ساختمانی برتر و قابلیت‌های ممتاز دیگر این عنصر طبیعی بهره‌مند گردد. دسترسی آسان به منابع اولیه، سادگی تهیه، صرفهٔ اقتصادی، شکل‌پذیری مناسب، انعطاف‌پذیری مطلوب و رفتارهای مکانیکی موزون، همچنان که جایگاه ارزنده‌ای برای خشت به ارمغان آوردند، شکی برای انسان در استفادهٔ ابزاری از گل برای ثبت کلام و انتقال معانی باقی نگذاشتند. این تجربه آفرینش سرپناه‌های گلین بود که پشتوانهٔ دانش انسان برای ساخت الواح

۱ . (گدار، ۱۳۱۲؛ حاکمی، ۱۳۲۸؛ سامی، ۱۳۳۱؛ شراتو، ۱۳۴۲؛ مقتدر، ۱۳۴۴؛ برزین، ۱۳۴۴؛ گیرشمن، ۱۳۴۵؛ کارگر سرفراز، ۱۳۴۷؛ کلایس، ۱۳۴۸؛ پیرنیا، ۱۳۴۹؛ مشکوتی، ۱۳۴۹ برداشت آزاد).

شد. هزاران سال زندگی در سرپناه‌های گلین، آموخته‌های بسیاری برای انسان به ارمغان آورد. او با اتکا به این تجارب و ابتکارات فنی مؤفق شد بسیاری از مصنوعات ممتاز هنری و کاربردی گلین را خلق کند. دسترنج وی اکنون میراث فرهنگی غنی گلین ماست با انبوهی ظرائف فنی که شناخت و بهره گیری از آنها بهترین راه حفاظت را به ما نشان می‌دهد.

الواح گلین در زمرۀ کهن‌ترین و معتبرترین اسناد تاریخی هستند و در عین حال بسیار آسیب‌پذیرند. گل نوشته‌ها، امتیازات شاخص و منحصر بفردی دارند که بسیاری آثار دیگر از آن بی‌بهره‌اند. اینها تحریف نشده‌اند، پر محتوا هستند و تنوع موضوعی بسیار زیادی دارند. هیچ یک از آثار دیگر به اندازۀ الواح، تصویر دقیقی از زندگی گذشته را تداعی نمی‌کند. الواح گلین همان قدر که ساده و بی‌تکلف زاییده شده‌اند، به همان نسبت می‌توانند آسان و پر شتاب متحمل آسیب‌های جبران ناپذیر گردند. سادگی در روش تهیه که بزرگترین امتیاز برای الواح و دیگر مصنوعات گلین است، نقطۀ ضعف آنها نیز به حساب می‌آید. مواجهه با الواح گلین به دلیل حساسیت و ابهامات حفاظتی، بیش از آنکه مایۀ هیجان باشد، عامل هراس و تشویش حفاظت‌گران است. شوق و حلاوت ناشی از مشاهدۀ چنین یافته‌هائی، بدون در نظر گرفتن رفتار حفاظتی متناسب، بیش از آن که به دل بنشیند، به کام تلخ می گردد. اساساً حفاظت امری است که با خود اثر زاده می‌شود. هرچه قدر اثر دنیای ساده‌ای داشته باشد، راه و روش حفاظت از آن نیز باید سهل و روان باشد. فراموشی سنت‌های حفاظتی و آدابی که می‌باید به موقع و در جای خود به یافته‌های مصدوم گلین اثر کند، سبب می گردد تا حجم قابل توجهی از این میراث ارزشمند به دست مخرب تقدیر سپرده شود. باید توجه داشت حفاظت در علمی‌ترین تعریف آن، بدون مراقبت حتی در ساده‌ترین شکل ممکن دوام نخواهد آورد. تجربه نشان داده است که مصنوعات گلین و به ویژه الواح، بیشتر به تیمار نیازمنداند تا دخالت‌های عمیق ساختاری، مگر آنکه مداخله واقعاً اجتناب ناپذیر باشد.

چنین تحقیقاتی با دخالت در پدیده‌ها و بررسی ارتباط بین متغیرها، می کوشند نقشی در پر کردن خلاء حفاظتی موجود داشته باشند. حداقل از منظر شرایط نگهداری و کیفیت استحکام‌بخشی، این رویکرد عینی وجود دارد که با اصلاحات و نوآوری‌هائی بتوان شرایط بهتری را برای الواح رقم زد. این بهره‌برداری زمانی مؤثر خواهد افتاد که پیشتر، چالش‌ها و نیازها شناخته و تدابیر گذشته، اثرسنجی شده باشند. چنین رویکردی به موضوع، مبتنی بر تجربه و مشاهدات و تحصیل و تحلیل ترکیبی داده‌ها در مقیاس‌های مطالعاتی است. برای انجام این تحقیق، نخست باید شناخت کافی از معضلات و چالش‌هایی که سلامت این دسته آثار گلین را تهدید کرده‌اند، حاصل گردد و به دنبال آن، نیازهای حفاظتی الواح با واقع بینی ارزیابی شود. آنگاه باید دریافت که تدابیر حفاظتی عمل شده، چه اثراتی به دنبال داشته‌اند. در ادامه لازم است بدانیم برای حفاظت

بهتر الواح چه در اختیار داریم تا به پشتوانهٔ آنها بتوان نسبت به تجویز راهکارهای مؤثر و متناسب با ماهیت اثر اقدام کرد. طبیعتاً همه چالش‌های موجود را نمی‌توان چاره کرد، اما می‌شود از اثرات زیان بار آنها کاست.

میراث گلین و قواعد مربوط به حفاظت

نرمش با طبیعت و هر آن چه محیط با همهٔ متغیرهایش در اختیار انسان نهاده، روح تلاشی را جاری ساخت که به خلق مصنوعات گلین منجر گردید. از همین رو نباید پنداشت تنها با مطالعهٔ خصوصیات نهفته در فیزیكِ آثار گلین بتوان به یك دستورالعمل جامع و فراگیر در حفاظت مطلوب از چنین میراثی دست یافت، زیرا این دسته مصنوعات بشری علاوه بر خصوصیات ممتاز کالبدی، دربردارندهٔ ارزش‌های فرهنگی ممتازتری هستند که می‌توانند جامعهٔ حفاظت‌گران را در اتخاذ تدابیر سازنده رهنمون سازند. مجموعهٔ این امتیازات، شرایط را به گونه‌ای رقم می‌زنند که یقین حاصل کنیم ایده‌های حفاظتی هم باید کالبد اثر را در برگیرد و هم حافظ و پاسدار فرهنگ ریشه‌دار و سازندهٔ آنها باشد (فلامکی، ۱۳۵۵؛ همان، ۱۳۶۷ برداشت آزاد). مصنوعات و فرآورده‌های گلین بشری، بطور کلی در سه گروه قابل تقسیم‌بندی هستند. نخست، مصالح و سازه‌های گلین. دوم، اشیای گلین و سوم، الواح گلین. مادهٔ اصلی سازندهٔ هر کدام از این مصنوعات را خاك تشکیل می‌دهد، اما بسته به نوع عملکرد، رفتارهای جداگانه‌ای برای آفرینش آنها صورت گرفته و از ترکیب ساختمانی نسبتاً متفاوتی برخوردارند. به همین دلیل، نوع نگرش حفاظتی و مرمتی هر کدام با دیگری تفاوت خواهد داشت. البته این تفاوت، آنچنان فاحش نیست که نتوان اشتراکاتی را در مبانی حفاظتی آنها ملاحظه کرد. خام بودن و ضعف کالبدی ناشی از آن، باعث شده تا این فرآورده‌ها در برابر عوامل محیطی به شدت آسیب‌پذیر باشند. چنین خصلتی، انجام دادن اقدامات حفاظتی و مرمتی (خصوصاً تثبیت و استحکام‌بخشی) را در مورد این آثار با حساسیت ویژه‌ای همراه می‌سازد. این حساسیت در مورد الواح گلی که در زمرهٔ اسناد مکتوب و بسیار نفیس تاریخی هستند و از ارزش مطالعاتی ویژه‌ای برخوردارند، به مراتب بیشتر است. حساسیت و ناپایداری آثار گلین در برابر پاره‌ای عوامل محیطی شناخته شده، گاه این نگرش را قوت می‌بخشد که هر اقدامی به منظور مقابله با تهدیدات، عملی سزاوار و پسندیده خواهد بود. بی‌تردید در همه حال، کنترل عوامل مخلل و مزاحم در روند حفاظت، امری ضروری و اجتناب ناپذیر می‌نماید، اما این به معنای تجویز مقابلهٔ سرسختانه نیست، زیرا ممکن است آن قدر در این ستیز افراط شود که منطق حاکم بر شکل‌گیری چنین آثاری کاملاً فراموش گردند و تا جایی پیش رفت که دیگر نتوان به این سوال پاسخ داد که آیا آن چه پیش رو داریم هنوز هم یك اثر دست‌ساز گلین و شکل‌گرفته بر بنیاد

عناصر هویت دهندۀ به آن است؟ تجربه نشان داده است در حفاظت میراث گلین و در امان نگه داشتن آنها از گزند عوامل تهدیدکنندۀ محیطی، روی آوردن به روش‌های تدافعی مسالمت‌آمیز، نتایجی به مراتب رضایت‌بخش‌تر از توسل به شیوه‌های تهاجمی ستیزجویانه به دنبال داشته و دارد (کسائی، ۱۳۵۵ ؛ فلامکی، ۱۳۵۵ برداشت آزاد). معمولاً در مورد آثار گلین، با توجه به نحوۀ برنامه‌ریزی حفاظتی، شتاب فرسایش، اغلب سریع‌تر از سرعت اتخاذ تدابیر بازدارنده و تعدیل کنندۀ آن است و همین مسئله توسل به تکنیک‌های استحکام‌بخشی را جهت جبران خسارت‌های ناشی از عقب‌ماندگی توجیه می‌کند. با این همه تردیدی نیست که تحکیم و استحکام‌بخشی همواره به عنوان آخرین راه‌چار حفاظت توصیه می‌شود و لازم است ضوابط و اصول کاربرد مواد استحکام‌بخش به دقت رعایت گردد. تجربه نشان داده است که آثار گلین بیشتر به نگهداری و مراقبت نیازمنداند تا دخالت‌های ساختاری. اصولاً این تفکر که چون تکنولوژی‌های نوین در همۀ لایه‌های زندگی بشر رسوخ کرده است، نباید ذهنیت را در مسیری قرار دهد که این آثار هم حتماً به کمك اسباب و موادی خارج از عرف و منطق حاکم بر این قبیل مصنوعات حفاظت شوند. آنچه دانش حفاظت از میراث گلین را از دیگر اشکال حفاظت متمایز می‌کند این است که اشتباهات و بدرفتاری‌ها تأثیر مخرب خود را به سرعت و شدت نمایان می‌سازند. این یک واقعیت غیر قابل انکار است که در حفاظت از یافته‌های گلین نباید ساده‌اندیشی در منطق، با ساده‌لوحی در عمل آمیخته شود و در مواجهه با عوامل مخرب نباید هیجان و علاقۀ وافر برای کنترل آنی فرسایش از طریق کاربرد مصالح سخت و استفاده از تکنیک‌های خشک و انعطاف‌ناپذیر باعث بی‌توجهی به سایر فرآیندهای تخریبی و مکانیزم‌های درون فرسایشی گردد. باید توجه داشت مواردی از قبیل: دسترسی آسان به منابع اولیه، سادگی در روش تهیه، عدم وابستگی به ادوات و تجهیزات مکانیکی خاص و ... همچنان که اساس آفرینش این آثار را رقم زده‌اند، در ارتباط با انتخاب روش‌ها و ابزار و مواد مورد نیاز برای استحکام‌بخشی نیز تا حد امکان مد نظر قرار گیرند (فلامکی، ۱۳۵۵؛ همان، ۱۳۶۷؛ همان، ۱۳۸۰ برداشت آزاد).

حوزۀ دانشی مسئله تحقیق

روش‌های بهبود مقاومت که تحت عنوان «تثبیت» یا «تحکیم» از آنها یاد می‌شود، با استحکام‌بخشی خاک برای بهینه‌سازی مصالح گلین شروع شد. دانش حفاظت و استحکام‌بخشی الواح گلین، حوزۀ چندان وسیعی نیست؛ به عکس در مورد مصالح و ساختارهای گلین، این حوزه دانشی بسیار گسترده‌تر، منسجم‌تر و با سابقه‌تر است؛ پس بدیهی است که تصور شود از این ظرفیت می‌توان برای بهبود و ارتقای

سطح رسیدگی به الواح آسیب دیده بهره‌برداری کرد. زمانی که از استحکام‌بخش‌ها سخن به میان می‌آید، نباید این ذهنیت تداعی شود که حتماً باید با ترکیبات شیمیائی پیچیده سر و کار داشته باشیم. از قرن‌ها پیش که اساس زندگی بشر بر محور طبیعت استوار بوده، هر چیزی که پیرامون‌شان می‌یافتند و مناسب با خواستهٔ‌شان می‌دیدند، جهت پایداری بیشتر مصالح گلین مورد استفاده قرار می‌دادند. تاکنون بیش از یك صد فرآورده برای تحکیم خاك و مصالح تهیه شده با آن استفاده شده است. این مواد می‌توانند چه به صورت یك لایهٔ محافظ سطحی و چه به شکل مخلوط با دیگر اجزاء تشکیل‌دهندهٔ خاك به کار گرفته شوند. به هر طریق بحث تحکیم خاك به تنهایی علم مشخصی نیست و از هیچ مادهٔ استحکام‌بخشی نمی‌توان انتظار معجزه داشت. علیرغم آن که فرآورده‌های متعددی برای تقویت مصالح گلین به کار برده شده‌اند، اما همهٔ آنها قابلیت‌های لازم برای تبدیل شدن به یك موضوع تحقیقاتی را در اختیار ندارند. مهم‌ترین نکته‌ای که باید بدان توجه کرد این است که فرآیند استحکام‌بخشی تنها زمانی انجام گیرد که واقعاً بدان نیاز باشد، در غیر این صورت هر لحظه می‌توان انتظار پیامد ناخوشایندی را داشت. موادی طبیعی همچون سفیدهٔ تخم مرغ، زردهٔ تخم مرغ، صمغ حیوانی، کتیرا، سریش، صمغ گیاهی به ویژه رُزین و خاک تپه‌های موریانه‌ای به منظور استحکام‌بخشی و بهینه‌سازی مصالح گلین در طی قرون گذشته به کار گرفته شده‌اند و برخی هنوز هم رواج دارند .[۱] در عصر ما نیز تلاش‌های پراکنده‌ای برای بهبود کیفیت خاك و مصالح گلین با استفاده از انواع چسب‌ها، رزین‌ها و ترکیبات شیمیایی انجام گرفته است. در برخی موارد نتایج رضایت‌بخشی نیز گزارش شده، اما آنچه مشکل آفرین به نظر می‌رسد، هزینهٔ زیاد و مقرون به صرفه نبودن آنها جهت انجام دادن طرح‌های حفاظتی بزرگ است. اهم این مواد استحکام‌بخش سنتتیك عبارت‌اند از: سولفیت لیکور، آلیکات اچ ۲۲۶، امولسیون رسی قیر، امولسیون آنیونیك قیر، امولسیون کاتیوتیك قیر، پلیمرهای اکریلیك، پلیمرهای متاکریلیك، رزین‌های ترموسیتینگ، محلول‌های سیلیکون‌دار و انواع پوزولان‌ها که تاکنون استفاده

۱ . غیر از آن مواد دیگری چون وینسول، لیگنین، جو، آب جو، جو خیسانده، موم زنبور عسل، روغن‌های حیوانی و گیاهی (روغن ماهی، روغن کرچک، روغن نارگیل، روغن کتان، روغن پنبه)، چربی‌های حیوانی، چسب‌های حیوانی (تهیه شده از استخوان، شاخ، سم و پوست)، خون گاو نر اخته شده، خون اسب آبی، کره، سرشیر، کازئین، پنیر، پنبه، شیر دلمه شده، پودر کشک، پوست درختان به ویژه نارون قرمز، ژلاتین، صمغ عربی، انجیر تازه، شیره انجیر، میوه تازه، سبزیجات، مو و پشم حیوانات، شیر، مالت، کراتین، پیه خوک، پیه گاو و گوسفند، ملاس، پوسته برنج، لیف اسطوخودوس، لیف برنج، لیف کنف، لیف ارزن، لیف باگاس، لیف بامبو، زعفران، شلاک، شکر، تانین، ادرار اسب، شراب، خمیر گیاه تلخه، خمیر چاودار، کلسترول، صمغ ماستیک، تالک، ساکارین، گلوکز، دانه‌های کنف، کلاژن، براکس، دوغاب پِهِن، فضله کبوتر، الیاف محکم درختی، رس، ماسه، آهک، شن ریزه، خاک آجر، پودر سفال، صدف، مرجان، لوخ، لوئی، شیره انگور، کاه، خاکستر، قیر معَدنی، توف‌های آذرین، دیاتومه، شیره گیاه کاکتوس، شیرهٔ برگ درخت موز، شیرهٔ گیاه اقاقیای هندی، تانین‌ها (جوهرهای مازو حاصل از پوست درخت نره، بلوط، شاه بلوط، اقاقیای عقرب دار) برای این منظور استفاده شده‌اند.

شده یا پیشنهاد گردیده‌اند (برداشت آزاد).[۱] و [۲]

تجارب استحکام‌بخشی الواح گلین

بسیاری از الواحی که متحمل آسیب‌های فیزیکی (شکستگی، ترکیدگی، لهیدگی، گسیختگی) و یا شیمیایی (نهان شکفتگی نمکی) شده‌اند، نیازمند عملیات استحکام‌بخشی هستند. این فرآیند تا کنون به دو روش سنتی (پخت در کوره) و مدرن (تزریق و اشباع پلیمری) انجام شده است.

الف) روش سنتی

در این روش، الواح گلی را درون کوره و در دمای بالاتر از ۶۰۰ درجهٔ سانتیگراد حرارت می‌دهند و آنها را به سفال تبدیل می‌کنند (شکل۱). در اکثر مراکز مرمتی و موزه‌های دنیا از این روش استفاده می‌شود. مهمترین نکته‌ای که در روش سنتی مد نظر قرار می‌گیرد این است که هم پختن نمونه‌ها و هم سرد کردن



شکل۱، نمونه‌ای از الواح گلی پخته شده (مأخذ: باتر ، ۱۳۸۰)

---

۱. جز این مواد دیگری نیز پیشنهاد شده است که مهمترین‌شان سیلیکات‌ها به ویژه سیلیکات سدیم و اتیل سیلیکات، نیترو سلولز، آسفالت مایع، کک مایع، گلوکونات، نایلون، ملامین، سلوفان، پشم شیشه، میکرو سیلیس، پالمو کوپال، کوپال مانیلا، فورفورال آنیلین، فورفوریل الکل، رزورسینول فورفورال، فنل، اوره فورفورال، سولفونات فرمالدئید، رزورسینول فرمالدئید، فنل فرمالدئید، فرمالدئید اوره، ملامین فرمالدئید، کلسیم آکریلیک، آکریلیک نیتریت، پلی آکریل آمینز، پودر آلومینیوم، اتیل سلولز، کربوکسی متیل سلولز، پلی وینیلیک الکل، پلی وینیل استات، اوره فرمال، متیل اوره، دی متیلول اوره، چسب‌های روپلکس، چسب‌های اپوکسی، چسب‌های پلی اورتان، پلی وینیل کلراید، پلی وینیل استات، کوپولیمرهای بوتادین استایرن، پلی وینیل الکل همراه با پلی وینیل استات، سولفونات‌های آلکیل ـ آریل، هیدروکسیدهای باریم، هیدروکربن‌های سولفونات‌دار، بروسیلیکات سدیم، کلرید کلسیم، مشتقات سلولز، گلیکول استر، تری اتیلن گلیکول، هیدروکسید باریم، هیدروکسید پتاسیم، هیدروکسید لیتیم، هیدروکسید کلسیم، کلرید سدیم، کلرید فریک، کلرید آلومینیوم، آمین‌های آروماتیک و آلیفاتیک، نمک‌های آمینه، سیلیکات سدیم، سیلیکات پتاسیم، سیلیکات کلسیم، استئارات آلومینیوم، استئارات منیزیم، استئارات روی، موویلیت، سولفونات فرمالدئید، نفتالین است (نفیسی، ۱۳۵۴: ۲۱؛ موسسه بین المللی تکنولوژی کالیفرنیا، ۱۳۵۷: ۶؛ جی، ۱۳۵۸: ۷؛ ام جی، ۱۳۶۰: ۹؛ رمضانیان پور، ۱۳۷۴: ۴؛ خدابنده، ۱۳۷۵، ۵ و ماجدی اردکانی ۱۳۷۶، ۵ و ماجدی اردکانی ۱۳۷۶، ۲۷ و پرهیزکار ۱۳۷۷، ۳۱ و ثقفی ۱۳۷۸، ۱۹ برداشت آزاد).

2. (Giorgio 1970, 49; Bultinck 1972, 186; Gullini 1972, 259; M 1972, 205; Stronach 1972, 71; R 1972, 109; Crosby 1976, 46; Pigott 1978, 161; Crosby 1978, 47; Feilden 1979, 21; Albini 1980, 119; Galdieri 1980, 19; Sengupta 1980, 91; Samacanez 1981, 83; UNCHS 1981, 97; Chiari 1983, 46; Lewin 1983, 77; Zador 1985, 40; Taylor 1987, 91; Vargas 1987, 103; Ferm 1990, 67; Helmi 1990, 51; Koob 1990, 289; Mendonca 1990, 166; Oates 1990, 388; Sramek 1990, 449; Baradan 1993, 652; Chiari 1993, 115; Cirillo 1993, 125; Dinu 1993, 211; Engelking 1993, 87; Maria 1993, 401; Schroeder 1993, 158; Matera 1994, 21; Selwitz 1994, 88; Houben 1994, 93; Selwitz 1995, 109).

آنها به تدریج و در مدت زمان نسبتاً طولانی صورت می گیرد. در روش سنتی فقط از کوره‌های برقی استفاده نشده بلکه در مواردی کوره‌های صحرایی هم بکار رفته‌اند. در محوطهٔ باستانی نیپور (سال‌های ۱۹۵۷ و ۱۹۵۸ میلادی) و نیز محوطه‌های باستانی شوش و هفت‌تپه از کوره‌های صحرایی برای پخت الواح گلی استفاده شده است. امتیاز این روش، افزایش چشمگیر مقاومت الواح و معایب آن، بروز تغییرات شیمیائی غیر قابل بازگشت، بروز تغییرات فیزیکی ناخواسته، عدم امکان کنترل الواح در حین پخت و احتمال بروز تخریب گسترده است.

۱) موزهٔ بریتانیا: در این موزه برای استحکام‌بخشی الواح و اشیای گلی، آنها را در کورهٔ برقی و به تدریج تا دمای ۷۵۰ درجهٔ سانتیگراد حرارت می‌دهند. در بخش مرمت این موزه، سالیانه بیش از ۱۰۰۰۰ لوح گلی استحکام‌بخشی می‌شود.

۲) موزهٔ دانشگاه فیلادلفیا: در این موزه برای استحکام‌بخشی الواح و اشیای گلی، آنها را در کوره برقی و به تدریج تا دمای ۸۰۰ درجهٔ سانتیگراد حرارت می‌دهند.

۳) موزهٔ دانشگاه پنسیلوانیا: در این موزه برای استحکام‌بخشی الواح و اشیای گلی، آنها را در کورهٔ برقی و به تدریج تا دمای ۸۲۵ درجهٔ سانتیگراد حرارت می‌دهند و به آرامی در مدت ۴۸ ساعت سرد می کنند.

۴) موزهٔ لوور: در این موزه برای استحکام‌بخشی الواح و اشیای گلی، آنها را در کورهٔ برقی و به تدریج تا دمای ۹۰۰ درجهٔ سانتیگراد حرارت می‌دهند. البته دمای ۸۵۰ درجهٔ سانتیگراد نیز پیشنهاد شده است.

ب) روش مدرن

معمولاً این روش فقط در مواردی پیشنهاد شده که تحکیم و استحکام‌بخشی با روش سنتی امکان‌پذیر نباشد. امتیاز این روش، سهولت کاربرد و معایب آن، کوتاه بودن عمر مفید و کم بودن عمق نفوذ اغلب پلیمرها، عدم آگاهی کافی از عواقب و عوارض کاربرد پلیمرها و امیدواری کم به برگشت‌پذیری آنها و احتمال آسیب دیدگی در حین زدایش پلیمر است. پلیمرهای توصیه شده برای این روش عبارت‌اند از:

۱) ورنی‌های رقیق پلی وینیل استات، پلی متیل متاکریلات یا نیترو سلولز که از سوی پلندرلیت[۱] پیشنهاد شده است.

۲) رزین اکریلیك پارالوئید B ۷۲ و اتیل سیلیکات که از سوی آنه لیژگ[۲] پیشنهاد شده‌اند.

۳) محلول پلی بوتیل متاکریلات در استن یا تولوئن با ویسکوزیته پائین که از سوی گراسیموا[۳] و

1. Plenderlith
2. Anne Liegeg
3. Gerasimova

وینورادوا[1] پیشنهاد شده است.

۴) محلول پلی وینیل بوتیرال ۵ درصد در پروپیل الکل یا اتانول که از سوی هلگ برینچ مَدسن[2] پیشنهاد شده است (باتر ۱۳۸۰، ۱۶-۱۴).

مواد و روش‌ها

همان طور که پیشتر بیان گردید این پژوهش اساساً به دنبال آن است که با تکیه بر تجارب و دانش حفاظت مصالح گلین، روش‌های حفاظتی دیگری جدا از روش‌های مرسوم برای استحکام‌بخشی الواح را معرفی کند. این روش‌ها باید ساده‌تر، انعطاف‌پذیرتر و برگشت‌پذیرتر باشند و در عین حال بتوانند از بین آسیب‌های شایع الواح گلین، دو آسیب عمده را به طور ویژه علاج کنند. با این نگرش حفاظتی انتظار می‌رود «ترمیم ترک خوردگی» و «مهار پاشیدگی» محقق گردد و الواح گلی آسیب دیده مداوا شوند. در حوزهٔ دانشی مسئله تحقیق، مطالعات انجام گرفته عموماً در مورد یادمان‌ها و مصالح گلین بوده‌اند، اما به سبب تشابهات و اشتراکات ساختاری، می‌توان از این تجارب با نگرشی جدید در راستای حفاظت مطلوب الواح استفاده کرد.

حفاظت با ملاط گل مسلح

در معرفی روش‌های پیشنهادی برای توان‌بخشی و استحکام‌بخشی الواح گلی آسیب دیده، اعتقاد بر این بوده که «گل» به عنوان عنصر اصلی شکل‌دهنده به الواح باید محور برنامه‌ریزی حفاظتی باشد. جا دارد روش‌هایی را به کار بست که بدون دخل و تصرف عمده و صیانت از اصالت اثر، بتوان حفاظتی متفاوت را تجربه کرد. با شناختی که نسبت به رفتار الواح و عوامل اثرگذار بر پایداری آنها در زمان کاوش و پس از آن (یعنی انتقال یافته‌ها به محل امن و نهایتاً موزه) به دست آمده، گمان می‌رود جدا از روش‌های معمول، می‌توان با نوآوری و مداخله در فرآیند حفاظت، به نگهداری ساده‌تر و ایمن‌تر این دسته مصنوعات گلین کمک کرد. این فرضیه مبتنی بر دانشی یک صد ساله و تجاربی است که از گذشته‌های دور تا به امروز برای حفاظت و بهینه‌سازی مصالح گلین با استفاده از مواد افزودنی و استحکام‌بخش طبیعی و مصنوعی دنبال شده است. حساسیت و ظرافت نهفته در فیزیک الواح گلین، ایجاب می‌کند همواره آمادگی و تدارک لازم برای مواجهه با تهدیدات از طریق اتخاذ تدابیر حفاظتی کارآمد و پیشگیرانه برقرار باشد. بخشی از این آمادگی برای مدیریت و کاهش خطرپذیری، از طریق

1. Vinogradova
2. Helge Brinch Madsen

نوآوری در فرآیند تحکیم و استحکام‌بخشی الواح تأمین می‌شود. باید پذیرفت که نمی‌توان جریان سنتی حفاظت را ارتقا داد، بی آنکه برنامه‌ای برای اصلاح روش‌های مداخله داشت و نمی‌شود الواح آسیب دیده را از زوال نجات داد، ولی توجهی به بهبود قابلیت‌های مادهٔ قوام‌بخش نکرد. سرنوشتی که گاه به‌دلیل اقبال و گاه به‌سبب قصور بر خیل الواح گذشته، هشدار دهنده و عبرت آموز هستند و تردیدی برای تغییر نگاه حفاظتی باقی نمی‌گذارند. ارتقای فرآیند حفاظت زمانی ضمانت اجرایی خواهد داشت که در درجهٔ اول، مقرون به صرفه و در درجهٔ دوم، ساده و فاقد پیچیدگی باشد تا در صورت بروز خطای احتمالی در هر مرحله از عملیات، فرصت برای جبران وجود داشته باشد. تحقق اهداف ارتقابخشی در مداخلات حفاظتی، پیش از هر چیز مستلزم شناخت خصوصیات ساختمانی الواح و محصولات قابل استفاده برای استحکام‌بخشی است. دست یافتن به این که ضعف‌های قابل اصلاح الواح کدام‌اند و مواد و روش‌های حفاظتی چه ضعفی را و چگونه درمان می‌کنند، مراحل بعدی فرآیند نجات‌بخشی است. بهبود شرایط حفاظتی الواح البته همیشه با به خدمت گرفتن مواد استحکام‌بخش تأمین نمی‌گردد و لاجرم نیاز به مداخلات جانبی و ایجاد تغییراتی در نوع نگهداری الواح است.

حفاظت به روش ملاط گذاری

این روش برای پر کردن ترک‌ها و شکاف‌هایی توصیه می‌شود که تا عمق الواح کشیده شده‌اند، ولی هنوز منجر به از دست رفتن انسجام آنها نگردیده‌اند. بنابراین ریز ترک‌ها مشمول این قاعده نیستند و بهتر است به حال خود رها شوند. ملاطی که برای ترمیم این ترک‌ها و شکاف‌ها به کار برده می‌شود باید دارای چندین ویژگی باشد. نفوذپذیری مناسب، انعطاف‌پذیری مطلوب، چسبندگی قابل انتظار، انقباض حداقلی در حین خشک شدن، سختی متناسب پس از خشک شدن، تفاوت بصری در رنگ یا بافت و قابلیت جایگزینی در هر زمان با کمترین احتمال خطرپذیری، از مهمترین ویژگی‌های این ملاط هستند. با در نظر گرفتن وضعیت الواح و کسب تجارب سودمند در حوزه حفاظت میراث گلین، ملاط پیشنهادی برای استحکام‌بخشی گل نبشته‌ها، ترکیبی از اجزای زیر خواهد بود.

جدول ۱: اجزای تشکیل دهندهٔ ملاط پیشنهادی

فرم‌دهنده	قوام‌دهنده	اصلاح‌کننده	پرکننده	موزون‌کننده
خاک رس پایه	خاک رس همزده	جوشاندهٔ سیس	لیف سیس	خاکستر سیس

آماده‌سازی عناصر متشکله

الف) خاک رس پایه

مهمترین ویژگی فیزیکی خاک رس، نرمی و ریزدانگی آن است (جدول۲). منظور از خاک رسی نرم، آن خاکی است که به‌خوبی کوبیده و سرند شده باشد. کوبیدن، برای اطمینان از خرد شدن کلوخه‌ها و سرند کردن، برای جدا نمودن بخش ریز دانۀ آن است. برای نمونه‌سازی، از خاک باقی‌مانده زیر الک مش ۱۰ (ذرات کوچک‌تر از ۲ میلیمتر) استفاده می‌شود. البته از الک مش ۱۸ نیز که ذرات کوچک‌تر از یک میلیمتر از آن عبور می‌کنند، می‌توان استفاده کرد. در طبیعت، چنین خاکی وجود ندارد که بلافاصله قابل مصرف باشد و حتماً نیاز به آماده‌سازی (خرد کردن کلوخه‌ها و سرند کردن) است (شکل۲). این خاک با آبخوره کردن و هم خوردن، به خمیری بسیار نرم و یک‌دست تبدیل می‌شود. اضافه نمودن آب به خاک باید آرام آرام و مرحله به مرحله انجام گیرد تا کنترل بیشتری بر فرآیند ساخت ملاط گل وجود داشته باشد. باید توجه داشت که عملیات آبگیری، غالباً زمان‌بر و با تنش همراه است. علاوه بر این آب در مقادیر بیش از حد بهینه، باعث سیال شدن و خروج برخی از عناصر از بافت خاک می‌گردد.



■ شکل ۲: آماده‌سازی خاک (مأخذ: نگارنده، ۱۳۸۸).

تدبیری که برای ساخت ملاط پیشنهادی بکار رفته، استفاده از خاک قطعات الواح خرد شده است. به همین سبب در معرفی اجزای تشکیل‌دهنده ملاطِ پیشنهادی از عبارت «خاک رس پایه»، یعنی خاک مربوط به بدنۀ اصلی همان نمونه یا نمونه‌های مشابه و مجاور استفاده شده است. در محیط‌هایی که الواح به دست آمده‌اند، همواره تکه‌های ریز و درشتی از گل نبشته‌های آسیب دیده وجود دارد که فاقد هرگونه خط و نشان هستند. معمولاً تعدادی از این قطعات با شواهدی که برای مرمتگر محرز می‌گردد به بدنۀ اصلی چسبانده می‌شوند، اما سرنوشت بیشتر آنها برای همیشه مبهم می‌ماند و صرفاً به عنوان بقایای فاقد ارزش تاریخی و غیر قابل استفاده نگهداری می‌شوند. اینها ذخیره‌ای بسیار ارزشمند برای اقدامات حفاظتی هستند (اشکال۳و۴). بهره‌برداری از این کلوخک‌های رها شده، غیر از اینکه فرآیند پیچیدۀ انتخاب و آماده‌سازی خاک را برای تهیۀ ملاط غیرضروری می‌کند، به سبب ماهیت و همسانی ساختاری، بیشترین قرابت را با نمونه‌های تاریخی خواهد داشت. برای آماده‌سازی این کلوخک‌ها و استفاده از آنها

به عنوان «خاک رس پایه»، تنها کافی است هر بار مقداری از آنها را درون پارچهٔ نرمی پیچاند و آنگاه با قطعه سنگ صافی بدون ضربه زدن، شروع به فشردن و له کردن قطعات نمود تا جایی که خاک کاملاً نرم و یکدستی به دست آید. با توجه به اینکه از این خاک قبلاً ملاط تهیه شده و برای ساخت الواح مورد استفاده قرار گرفته، آمیختن دوباره آن با آب و تهیه ملاط جدید معمولاً با افت کیفیت همراه است. از این رو این خاک نیاز به تقویت و بهبود برخی خصوصیات رفتاری دارد که با دیگر افزودنی‌ها به ویژه «خاک رس هم‌زده» محقق می‌گردد. ساختار شیمیایی خاک رس پایه در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. هدف از انجام این آزمایش جدا از شناخت ترکیبات تشکیل‌دهندهٔ خاک مورد استفاده برای ساخت الواح، مقایسه خصوصیات شیمیایی این خاک با خاک رس هم‌زده (خاک تثبیت شدهٔ طبیعی) به عنوان مادهٔ اصلی مورد استفاده برای ترمیم و تقویت الواح گلی آسیب دیده است (جدول ۳).

■ شکل۳: الواح خرد شده و بدون خط و نشان در کنار نمونه‌های سالم (مأخذ: بایگانی پایگاه چغازنبیل و هفت تپه).

■ شکل۴: کلوخک‌های به جا مانده از الواح و عاری از هرگونه شواهد تاریخی (مأخذ: همان).

جدول۱: آزمایش تجزیه شیمیائی نمونهٔ خاک رس پایه به روش XRF (مأخذ: آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان فارس / شماره استاندارد ASTMC۲۵).

SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	درصد افت وزنی	درصد کربناتها	درصد کلرورها
38/96	8/20	2/40	22/70	1/50	0/12	۲۱/۱۷	۱۴/۰۸	۰/۰۲

XRF روش آنالیز نیمه کمی عناصر، مخفف عبارت X-ray Fluorescence Sepectroscopy یا همان فلورسانس اشعه ایکس است.

ب) خاک رس هم‌زده

حیوانات خیلی زودتر از انسان‌ها به رمز استفاده از خاک تقویت شده برای ساخت سرپناه پی بردند. دسته‌ای از حشرات و پرندگان این توانایی را دارند که ریزترین بخش خاک را استخراج کنند، با بزاق چسبناک دهان درآمیزند و با جویدن ورز دهند. ملاط حاصل‌شده پس از خشک شدن، سختی و استحکامی مثال زدنی پیدا می‌کند. این ملاط، طبیعی‌ترین گل تقویت شده است. مقاومت و کیفیت بالای این ملاط گلی، جدا از عمل‌آوری غریزی مناسب، مرهون مادۀ فعال ترشح شده در بزاق این موجودات است که همانند چسب عمل می‌کند و ذرات خاک را به هم پیوند می‌زند. این ماده، نوعی پلیمر سلولزی غیر یونی (پلی ساکارید) است. از مخلوط کردن این خاک‌های تقویت شده با خاک‌های معمولی در نسبت‌های بهینه، می‌توان مصالح مقاومی تهیه کرد که استحکام خشک و خیس قابل توجهی دارند. در بسیاری از مناطق آفریقا، خاک تپه‌های موریانه‌ای را می‌کوبند و با خاک‌های دیگر مخلوط می‌کنند و برای ساختمان‌سازی به مصرف می‌رسانند. تپه‌های موریانه‌ای مانند تنه‌های قطور درخت، چنان سخت و محکم هستند که حتی حیوانات عظیم الجثه برای خاراندن پوست و دفع حشرات و انگل‌های روی آن، بدن خود را مرتب به آنها می‌مالند. شکل مصنوعی این ماده در آفریقای جنوبی توسط محققان ساخته شده و سه برابر سیمان پرتلند قیمت دارد (Houben ۱۹۹۴ , ۱۶۸). در ایران اثری از تپه‌های موریانهای نیست و گونه‌های بومی موجود در کلنی‌های زیرزمینی زندگی می‌کنند. جایگزین‌های دیگری البته برای دسترسی به گل تقویت شدۀ طبیعی وجود دارد. گونه‌ای پرستو که در مناطق مختلفی از ایران پراکنده است، برای لانه‌سازی چنین ابتکار عملی دارد. ملاط گل فرآوری شده توسط این گونۀ جانوری، در عین برخورداری از بافت و دانه‌بندی مطلوب، دارای چسبندگی، گیرش و قوام بسیار مناسبی است. برای آماده‌سازی این خاک که به خاطر فرآیند عمل‌آوری طبیعی انجام شده بر روی آن، «هم‌زده» نام گرفته، پس از جداسازی لانه‌های گلی متروک و زدودن هرگونه جسم خارجی، ابتدا آنها را تکه تکه کرده و سپس درون کیسه‌های پارچه‌ای ریخته می‌شوند. از روی این کیسه‌ها به دفعات غلتک عبور می‌کند تا محتویات آن به آرامی کاملاً نرم و آسیاب گردند. در این مرحله از پتک و اشیای مشابه برای کوبیدن استفاده نمی‌شود، چرا که ضربه زدن، احتمال تغییر ساختار فیزیکی خاک را در پی دارد.

جدول ۳: آزمایش تجزیهٔ شیمیائی نمونه خاک رس همزده به روش XRF (مأخذ: مرکز پژوهشی متالورژی رازی).

ترکیب شیمیائی	درصد وزنی	شرح
Na2O	1.1	● شرایط محیطی آزمایشگاه: دما ۲۵ درجهٔ سانتیگراد و رطوبت ۳۰٪ ● آماده‌سازی نمونه: همراه با خردایش ● استاندارد مرجع آزمون: ASTM E 1621-05 ● آنالیز به صورت نیمه کمی انجام شده است. ● میزان درصد وزنی عناصر B و F به روش XRF قابل شناسایی نیست. ● جهت اندازه‌گیری L.O.I (وزن از دست رفته)، نمونه به مدت یک ساعت در دمای ۷۵۰ درجه سانتیگراد قرار گرفته است.
MgO	3.2	
Al2O3	14.3	
SiO2	52.3	
P2O5	0.22	
SO3	0.18	
Cl	0.12	
K2O	3.8	
CaO	9.3	
TiO2	0.57	
MnO	0.14	
Fe2O3	6.52	
L.O.I	8.25	
La & Lu	<1	
XRF روش آنالیز نیمه کمی عناصر، مخفف عبارت X-ray Fluorescence Sepectroscopy یا همان فلورسانس اشعه ایکس است.		

بهترین مرجع برای مقایسه نتایج جداول شماره ۲ و ۳، رجوع به استاندارد خاک ایران (جدول شماره ۴) است.

جدول ۴: ویژگی‌های شیمیایی خاک مناسب برای تهیه فرآورده‌های گلین.

ردیف	ترکیب شیمیایی	حد مطلوب	روش آزمایش
1	اکسید سیلیسیم SiO_2	60ـ ۴۰ درصد	استاندارد شماره ۸۶۱ ایران
2	اکسید آلومینیوم Al_2O_3	21ـ ۹ درصد	استاندارد شماره ۸۴۸ ایران
3	اکسید آهن Fe_2O_3	12ـ ۳ درصد	استاندارد شماره ۸۴۹ ایران
4	اکسید کلسیم CaO	حداکثر ۱۷ درصد	استاندارد شماره ۸۵۱ ایران
5	اکسید منیزیم MgO	حداکثر ۴ درصد	استاندارد شماره ۸۵۱ ایران
6	انیدرید کربنیک CO_2	حداکثر ۸/۵ درصد	استاندارد شماره ۱۱۶۲ ایران
7	انیدرید سولفوریک SO_3	حداکثر ۰/۵ درصد	استاندارد شماره ۱۱۶۲ ایران
8	کلرید های سدیم و پتاسیم	حداکثر ۰/۱ درصد	استاندارد شماره ۱۱۶۲ ایران
9	افت وزن بر اثر سرخ شدن	حداکثر ۱۶ درصد	استاندارد شماره ۱۱۶۲ ایران

همچنان که مشخص است در اغلب موارد به ویژه در میزان اکسید سیلیسیم و اکسید آلومینیوم که اجزای اصلی تشکیل‌دهندۀ خاک رس هستند، نمونۀ خاک رس هم‌زده نسبت به نمونۀ خاک رس پایه، از شاخصه‌های ممتازتری برخوردار است و کیفیت بهتری را نشان می‌دهد. حضور کمتر ترکیبات گچی و کربناتی در خاک رس هم‌زده، امتیاز دیگری برای این نمونه است. هرچه مقدار آهک و گچ در ترکیب خاک کمتر باشد، برای تهیه فرآورده‌های گلین، مناسب‌تر خواهد بود. با این وجود چنانچه آهک به صورت پودر و به طور یکنواخت در خاک پخش شده باشد، حتی در نسبت‌های زیاد هم (گاه تا ۳۰ درصد) مشکل خاصی را ایجاد نمی‌کند. به عکس، زمانی که آهک به صورت شکفته نشده در ساختمان خاک وجود داشته باشد در حضور رطوبت مشکل آفرین خواهد بود. به طور کلی می‌توان گفت خطر ناشی از حضور گچ در خاک بیشتر از حضور آهک است. بخش عمده‌ای از این خطر ناشی از حساسیت زیاد گچ نسبت به آب در جریان پدیدۀ انحلال و تبلور ثانویه است.

ج) لیف سیس

در جریان اقدامات حفاظتی ارگ بم، استفاده از الیاف سیس برای اصلاح رفتار خشک شدن و کنترل ترک‌خوردگی ملاط، نتایج پرباری به دنبال داشته است (بنگرید به: ابراهیمی، ۱۳۹۸). غلاف تور مانندی که اطراف تنهٔ نخل پیچیده شده، به‌خودی خود قابل استفاده نیست. این غلاف‌ها پس از جداسازی باید به رشته‌های بسیار نرم و نازکی تبدیل شوند که قابلیت آمیزش با خاک را داشته باشند. به همین خاطر غلاف‌های سیس را برش می‌دهند و آنها را تکه تکه می‌کنند و با استفاده از دستگاه سیس خردکن که برای همین منظور طراحی و ساخته شده است، به صورت لیف در می‌آورند (اشکال ۵ و ۶). با این دستگاه می‌توان طول الیاف سیس را به حدود یک سانتی‌متر رساند. سیس‌های با این اندازه برای افزودن به خشت مناسب‌اند و نه به عنوان پرکنندهٔ ملاط پیشنهادی. به همین دلیل باید سیس‌های خرد شده را مجدداً آسیاب کرد تا اصطلاحاً به «نرمه سیس» تبدیل شوند و طولی حداکثر یک تا یک و نیم میلیمتر بیابند. سیس این مزیت را بر سایر الیاف پر کاربرد نرم و پنبه‌ای شکل مثل «لوخ» یا «لوئی» و دیگر موارد مشابه دارد که آمیزش آن با خاک و آب بسیار راحت‌تر است و بر خلاف بقیهٔ حالت جمع‌شدگی و گلوله‌ای به خود نمی‌گیرد. سیس‌ها علاوه بر اینکه به شکل یکنواخت‌تری در خاک پخش می‌شوند، قابلیت ارتجاعی زیادی دارند و مهم‌تر اینکه، هرگز دیده نشده مورد حملهٔ عوامل بیولوژیک (حشرات و موریانه‌ها) قرار گیرند. مثال بارز آن، تنه‌های نخل و غلاف سیس دور آنها در ادوار کهن معماری ارگ بم در قبل از اسلام



■ شکل ۵ : دستگاه سیس خردکن (مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۴).

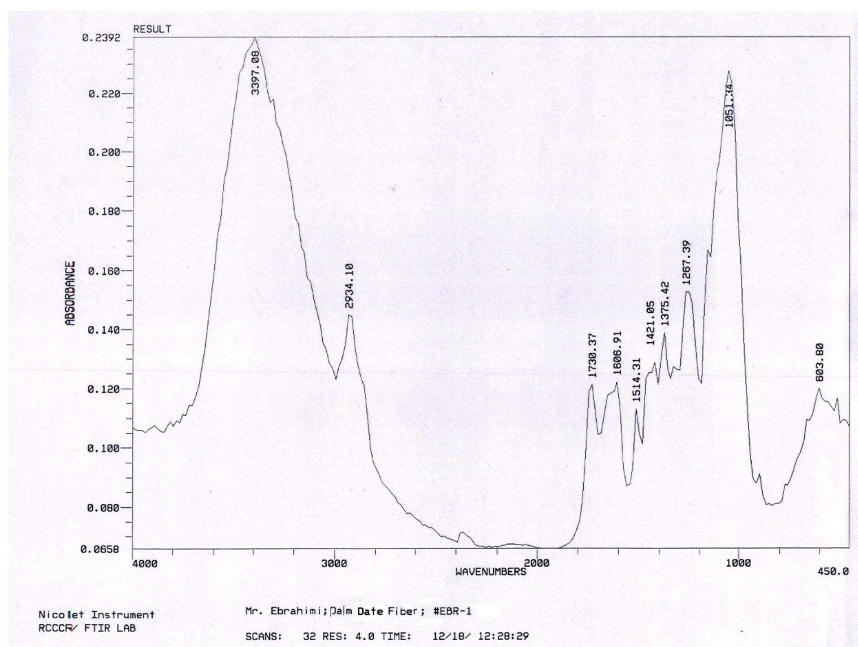


■ شکل ۶ :آماده سازی نرمهٔ سیس (مأخذ: همان).



■ شکل ۷: عکس میکروسکوپی از الیاف سیس با بزرگنمائی ۱۰.
(مأخذ: واحد میکروسکوپی پژوهشکدهٔ حفاظت و مرمت، ۱۳۹۸).

است که بر اثر زلزله آشکار شده و کماکان سالم و دست نخورده باقی مانده‌اند. اغلب الیاف هر چقدر هم کوبیده شوند، باز دارای یک سطح تخت خواهند بود، اما رشته‌های سیس با ضخامت کمتر از نیم میلیمتر به خاطر شکل مفتول مانند و مواجی که دارند، نقش آرماتور را به بهترین شکل ممکن ایفا می‌کنند (شکل۷). استفاده از لیف سیس به عنوان پرکننده در ترکیب ملاط پیشنهادی، جدا از اصلاح رفتار خشک شدن و کنترل ترک‌خوردگی، هم با ایجاد بافت متمایز و هم با تسهیل تخلیه احتمالی ملاط در آینده (به فرض یافتن دانش حفاظتی بهتر)، به مراقبت بهینه و منطقی‌تر الواح کمک می‌کند.
بر اساس آزمایش FT-IR، سیس، مرکب از نوعی مادهٔ سلولزی، لیگنین و پروتئین تشخیص داده شده است (جدول ۵) (شکل۸). FT-IR، روش آنالیز کیفی عناصر یا همان تبدیل فوریه اشعه مادون قرمز است.



■ شکل۸ : طیف آزمایشگاهی نمونه EBR-۱ (مأخذ: آزمایشگاه FT.IR پژوهشکدهٔ حفاظت و مرمت).

جدول۵ : شناسائی ساختار اجزای گیاهی نخل به روش FT.IR ؛ به ترتیب: سیس یا لیف خرما، بخش داخلی هستهٔ خرما، شیرهٔ خرما، بخش خارجی هستهٔ خرما (ماخذ: آزمایشگاه FT.IR پژوهشکده حفاظت و مرمت).

ردیف	شماره نمونه	نوع نمونه	رنگ نمونه	نوارهای جذبی مشخصه در *FT-IR* / (cm^{-1})	شناسایی
۱	(EBR-1)	پوست درخت خرما	زرد- قهوه‌ای	۳۳۹۷، ۲۹۳۴، ۱۷۳۰، ۱۶۰۶، ۱۵۱۴، ۱۴۲۱، ۱۲۶۷	نوعی ماده سلولزی و لیگنین
۲	(EBR -2)	هسته خرما (قسمت داخلی/سفید و شفاف)	سفید و شفاف	۳۲۷۳، ۱۶۳۰، ۱۵۲۲،۱۴۴۰، ۱۲۵۱ ۲۹۲۶، ۲۸۵۹، ۱۷۴۵، ۱۴۴۰، ۱۳۸۳	نوعی ماده پروتئینی نوعی ماده روغنی
۳	(EBR -3)	خرما	قهوه‌ای	۳۳۷۳، ۲۹۳۴، ۱۶۲۲، ۱۴۱۴، ۱۰۵۱	نوعی ماده پلی‌ساکاریدی
۴	(EBR -4)	هسته خرما (قسمت خارجی/ قهوه‌ای)	قهوه‌ای	۱۰۵۱، ۸۲۶، ۱۱۰۷، ۱۲۵۱، ۱۴۴۴، ۱۵۲۲، ۱۶۱۴،۱۷۳۸، ۳۴۲۷،۲۹۲۴	نوعی ماده سلولزی و لیگنین

در طیف مربوط به لیگنین، پیک ۳۴۲۷، مربوط به پیوند *O-H*، مربوط به گروه‌های هیدروکسیل فنولی و الکلی است. باندهای واقع در نواحی ۱۰۵۱ و ۸۲۶، مربوط به ارتعاش دفرم شدن پیوند *C-H* در حلقه‌های آروماتیک است. باند ۱۷۳۸ نیز به کشش باند کربونیل ارتباط دارد. باند های ۱۶۱۴، ۱۵۲۲، و ۱۴۴۴ نیز مربوط به حلقه‌های سیرینجیل و گواییاسیل، موجود در لیگنین، که معرف حلقه‌های آروماتیک هستند می‌باشند.

شرایط انجام آزمایش:

از نمونـه‌ها با استفاده از *KBr* ، تحت فشار ۱۰*ton*، قرص شفاف ساخته شد؛ از نمونه مورد نظر با دستگاه *FT-IR* مدل *Nicolet 510P*، در محدوده ۴۵۰ تا ۴۰۰۰ cm^{-1}، تعداد اسکن ۳۲ و رزولوشن ۴، طیف گرفته شد و طیف نهایی حاصل گردید.

د) جوشاندهٔ سیس

در تجارب بومی حفاظت میراث گلین به سابقهٔ استفاده از جوشاندهٔ سیس به عنوان دافع موریانه و حشرات اشاره شده است. محلول جوشاندهٔ سیس از حرارت دادن یک واحد حجمی الیاف کوبیده شده و دو واحد حجمی آب به دست می‌آید. پس از اضافه کردن الیاف آسیاب شدهٔ سیس به آب، آن را به مدت ۴۸ ساعت در همان وضعیت نگه می‌دارند و آنگاه مخلوط را حرارت می‌دهند تا آب به جوش آید. جوشیدن آب بهتر است نیم ساعت ادامه یابد و بعد از این مدت با سرد شدن مخلوط، عمل صاف کردن انجام می‌گیرد و محلول حاصل‌شده برای مصرف ذخیره می‌شود. هنگام تهیهٔ ملاط و ورز دادن گل، جوشاندهٔ سیس باید آرام آرام به خاک اضافه شود تا تمام ذرات خاک تقریباً به یک اندازه در تماس با این محلول قرار گیرند. استاندارد مشخصی برای حد بهینهٔ مصرف آب (در اینجا جوشاندهٔ سیس) وجود ندارد؛ چرا که هم دامنهٔ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها متنوع هست و هم انتظاراتی که از آنها وجود دارد، یکی نیست؛ به نحوی که این حد بهینه در مورد چینه، کمتر از خشت و در خشت، کمتر از ملاط است. پس عملکرد ساختمانی مصالح است که مقدار آب بهینه را تعریف می‌کند. با وجود این به عنوان یک قاعدهٔ کلی، چنانچه یک شیار V شکل بر روی ملاط گل ایجاد شود و دیواره‌های این شیار به سمت داخل، قوس بر ندارند، آب موجود در خمیرهٔ گل، بهینه قلمداد می‌شود (ولفسکیل 1366 : 76 ؛ Houben 1994 : 69).

جوشاندۀ سیس جدا از خاصیت «دفع کنندگی» به علت توانایی دور کردن ریزجانداران موذی، از دو خاصیت ممتاز دیگر نیز برخوردار است. یکی خاصیت «تصفیه‌کنندگی» آب و دیگری خاصیت «موزون‌کنندگی» رنگی ملاط. الیاف سیس در موقع جوشیدن آب، بخشی از نمک‌ها را به‌خود می گیرند و ته نشین می‌کنند. بعد از جداسازی جوشاندۀ سیس از الیاف ته نشین شده، با گذشت چند روز از خشک شدن الیاف، گرد سفید رنگی بر روی آنها مشاهده می‌شود که نشان‌دهندۀ رسوب املاح است. در مورد خاصیت موزون‌سازی رنگی باید گفت الواح گلی به مرور زمان رنگ چرک به خود گرفته‌اند و این چرکی در خلل و فرج الواح نفوذ کرده و قابل پاک‌سازی نیست. مخلوط «خاک رس پایه» و «خاک رس هم‌زده» پس از آمیزش با جوشاندۀ سیس، رنگ متوازنی با بدنۀ الواح پیدا می‌کند. چنانچه این توازن با تمایز توصیه شده و قابل قبولی همراه باشد، نیازی به استفاده از مادۀ موزون‌کننده نیست. در غیر این صورت باید از مادۀ موزون‌ساز برای ملایم کردن رنگ ملاط پیشنهادی و تشخیص بهتر جاهای ترمیم شده استفاده کرد.

ه) خاکستر سیس

استفاده از خاکستر به عنوان افزودنی در ترکیب مصالح گلین برای آبگریز کردن آنها، سابقه چند هزار ساله دارد. به طور کلی، خاکسترهای نرم سفید رنگ حاصل از چوب‌های سختِ خوب سوزانده شده که از کربنات کلسیم غنی‌تری برخوردارند، کارایی بهتری از خود نشان داده‌اند. چنین خاکستری علاوه بر بهبود مقاومت مصالح، در کاهش خطرات ناشی از حضور و نفوذ سولفات‌ها و کلرورها عملکردی مؤثر دارد. خاکسترهای گیاهی که به عنوان افزودنی به کار می‌روند، با میزان سیلیس غیر بلوری فعالی که دارند، ارزیابی می گردند. از همین رو در مورد خاکسترها، رسیدن به دمای پخت بهینه اهمیت ویژه‌ای دارد. چون در دمای پخت بهینه است که بیشترین میزان سیلیس غیر بلوری (فعال) را باقی می گذارند؛ البته این موضوع زمانی اهمیت دارد که در فرآیند بهینه-سازی مصالح، آهک هم به عنوان یک افزودنی جانبی شرکت داشته باشد تا با تشکیل یک ترکیب پوزولانی بین آهک و خاکستر، مادۀ سیمانی برای چسباندن ذرات خاک به یکدیگر حاصل شود. در غیر این صورت، یعنی زمانی که آهک در میان نباشد، باید روی خواص دیگر خاکستر مثل سبکی، چربی و موزون‌سازی رنگی حساب کرد. چنانچه دمای سوزاندن و شرایط سرد کردن خاکستر تحت کنترل نباشد، مقدار کربن نسوخته و سیلیس بلوری از حد معمول فراتر رفته و کیفیت تنزل می‌یابد (ماجدی اردکانی، 1376؛ Houben, 1994 برداشت آزاد). با این توضیح برای سوزاندن الیاف سیس، نیاز به رعایت شرایط دمایی خاصی نیست و همین قدر که رگه‌های سیاه رنگ

(کربن نسوخته) در خاکستر دیده نشود، با اطمینان قابل استفاده است. برای سوزاندن سیس‌ها در کورهٔ آزمایشگاهی، دمای تقریبی ۲۵۰ درجهٔ سانتیگراد به مدت ۲/۵ ساعت کافی است؛ سپس به خاکسترها فرصت داده می‌شود تا سرد شوند و در آخر نیز الک می‌گردند تا بافتی مثل آرد داشته باشند.

تعیین درصدهای بهینهٔ اختلاط

برای تعیین درصدهای بهینه اختلاط عناصر متشکل ملاط پیشنهادی، هم می‌توان از نسبت‌های وزنی و هم می‌توان از نسبت‌های حجمی استفاده کرد. معمولاً در شرایط آزمایشگاهی، درصدهای وزنی و در شرایط غیر آزمایشگاهی، درصدهای حجمی کاربرد دارند. گذشته از این، همواره باید ترتیبی منطقی برای مخلوط کردن اجزای ملاط با یکدیگر رعایت گردد. باید توجه داشت که ملاط استحکام‌بخش پیشنهادی، قابل ذخیره‌سازی و نگهداری برای طولانی مدت نیست و بهتر است حداکثر دو تا سه ساعت پس از تولید، به مصرف برسد. در غیر این صورت با سفت شدن ملاط، نیاز به اضافه کردن مجدد محلول جوشاندهٔ سیس است که به فرآیند بهینه‌سازی لطمه خواهد زد. نمونه‌سازی برای تعیین درصدهای بهینهٔ اختلاط در دو مرحله انجام می‌گیرد. در مرحلهٔ نخست، لازم است نسبت اختلاط بهینه اجزای اصلی ملاط یعنی «خاک رس پایه» و «خاک رس هم‌زده» مشخص گردد. این اجزا تا جایی با هم مخلوط می‌شوند که ملاط تهیه شده از آنها، دچار ترک‌خوردگی و جمع‌شدگی نشود. برای این منظور، درصدهای اختلاط، مطابق با جدول۶ و به شکل قراردادی، حرکت پلکانی پنج واحدی خواهند داشت. برای هر نسبت اختلاط، آزمایش سه بار تکرار می‌گردد تا به میانگین قابل اطمینانی برای مقایسهٔ وضعیت ترک‌خوردگی و جمع‌شدگی رسید.

جدول۶: تعیین نسبت اختلاط بهینهٔ اجزای اصلی ملاط پیشنهادی.

درصد حجمی خاک رس پایه	درصد حجمی خاک رس هم‌زده	عارضه
۹۵	۵	–
۹۰	۱۰	–
۸۵	۱۵	ترک‌خوردگی و جمع‌شدگی
۸۰	۲۰	ترک‌خوردگی و جمع‌شدگی

این جدول نشان می‌دهد که ترک‌خوردگی و جمع‌شدگی ملاط در دامنهٔ اختلاط ۸۵ به ۱۵ «خاک رس پایه» به «خاک رس هم‌زده» رخ داده است. به همین خاطر، آزمایش تعیین درصد اختلاط بهینهٔ اجزای اصلی ملاط، بر روی این محدوده متمرکز شده است. بر این اساس، درصدهای اختلاط، مطابق با جدول ۷ و به شکل قراردادی، حرکت پلکانی یک واحدی خواهند داشت. برای هر نسبت اختلاط، آزمایش سه بار تکرار می گردد تا به میانگین قابل اطمینانی برای مقایسهٔ وضعیت ترک‌خوردگی و جمع‌شدگی رسید.

جدول۷: تعیین نسبت اختلاط بهینهٔ اجزای اصلی ملاط پیشنهادی.

درصد حجمی خاک رس پایه	درصد حجمی خاک رس هم‌زده	عارضه
۸۵	۱۵	–
۸۴	۱۶	–
۸۳	۱۷	–
۸۲	۱۸	ترک‌خوردگی و جمع‌شدگی
۸۱	۱۹	ترک‌خوردگی و جمع‌شدگی

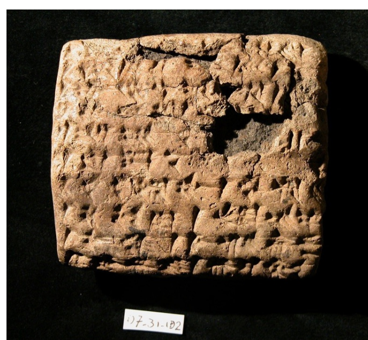
این جدول نشان می‌دهد که نسبت اختلاط ۸۳ درصد «خاک رس پایه» و ۱۷ درصد «خاک رس هم‌زده»، از نظر چسبندگی بهینه است و بیشتر از این، ملاط دچار ترک‌خوردگی و جمع‌شدگی می‌شود. این ملاط برای پر کردن و ترمیم ترک‌ها و شکاف‌های باریک مناسب است؛ چرا که ملاط حاوی «پرکننده» به دلیل اصطکاک و درگیری با جداره‌های ترک، نفوذ کامل ملاط به عمق ترک را دشوار می‌سازد (شکل۹).

در مرحلهٔ دوم لازم است نسبت اختلاط بهینهٔ اجزای تشکیل‌دهندهٔ ملاط پیشنهادی برای پر کردن و ترمیم ترک‌ها، شکاف‌ها و ریختگی‌های بزرگ‌تر مشخص گردد، زیرا هرچه سطح پر شدنی با ملاط بیشتر باشد، احتمال ترک‌خوردگی هم بیشتر است (شکل۱۰). در این مرحله «خاک رس پایه»، «خاک رس هم‌زده» و «لیف سیس» تا جایی با هم مخلوط می‌شوند که ملاط تهیه شده از آنها، دچار ترک‌خوردگی و جمع‌شدگی نشود. به این منظور درصدهای اختلاط، مطابق با جدول۷ و به شکل قراردادی، حرکت پلکانی یک واحدی خواهند داشت. برای هر نسبت اختلاط، آزمایش سه بار تکرار می گردد تا به میانگین قابل اطمینانی برای مقایسهٔ وضعیت ترک‌خوردگی و جمع‌شدگی رسید. با توجه به این که طبق جدول۷، تا نسبت اختلاط ۸۳ درصد «خاک رس پایه» و ۱۷ درصد «خاک رس هم‌زده»،

ترک‌خوردگی و جمع‌شدگی مشاهده نشده است، در مرحلهٔ دوم برای نمونه‌سازی، این نسبت‌ها به عنوان مبنا قرار می‌گیرند. برای تهیهٔ ملاط منعطف‌تر، درصد حجمی خاک رس هم‌زده (مادهٔ قوام‌دهنده) و لیف سیس (مادهٔ پرکننده)، افزایش پلکانی یک واحدی خواهند داشت (جدول۸). ملاط منعطف‌تر، دستور کار عادی برای استحکام‌بخشی الواحی هست که دارای ترک‌ها و شکاف‌های بزرگ‌تری هستند.



■ شکل۹: یک نمونه گل نبشته که گزینهٔ مناسبی برای حفاظت به شیوه ملاط‌گذاری نوع اول است
(مأخذ: مرکز اسناد پایگاه چغازنبیل و هفت تپه).



■ شکل۱۰: یک نمونه گل نبشته که گزینهٔ مناسبی برای حفاظت به شیوهٔ ملاط‌گذاری نوع دوم است
(مأخذ: مرکز اسناد پایگاه چغازنبیل و هفت تپه).

جدول۸: تعیین نسبت اختلاط بهینهٔ اجزای ملاط پیشنهادی.

درصد حجمی خاک رس پایه	درصد حجمی خاک رس هم‌زده	درصد حجمی لیف سیس	عارضه
۸۳	۱۷	۰	–
۸۱	۱۸	۱	ترک‌خوردگی و جمع‌شدگی
۷۹	۱۹	۲	ترک‌خوردگی و جمع‌شدگی
۷۷	۲۰	۳	ترک‌خوردگی و جمع‌شدگی
۷۵	۲۱	۴	ترک‌خوردگی و جمع‌شدگی
۷۳	۲۲	۵	ترک‌خوردگی و جمع‌شدگی
۷۱	۲۳	۶	–
۶۹	۲۴	۷	–

این جدول نشان می‌دهد که اختلاط ۷۱ درصد «خاک رس پایه» و ۲۳ درصد «خاک رس هم‌زده» و ۶ درصد «لیف سیس» برای ترمیم ترک‌های مورد اشاره، نسبت بهینه‌ای است. برای واژهٔ «بهینه» البته تعابیر مختلفی وجود دارد، اما آنچه در موضوع مورد تحقیق و به‌طور کل در بحث بهینه‌سازی مواد و مصالح منظور است، اولین و نزدیک‌ترین نسبت اختلاط اجزای پیشنهادی که انتظار ما را از فرآیند استحکام‌بخشی تأمین می‌کند.

دلیل عدم استفاده از «خاکستر سیس» در مرحله تعیین درصد اختلاط بهینهٔ عناصر متشکل ملاط این است که بر خلاف مصالح گلین که در محیط باز و پیوسته در معرض عوامل محیطی مهاجم و فرسایش قرار دارند، الواح در محیط‌های امن و سرپوشیده نگهداری می‌شوند. در مورد مصالح گلین، اختلاط خاکستر با خاک به جهت بهبود برخی از خصوصیات رفتاری مورد نظر (سبک‌سازی و آب‌گریزی) توجیه پذیر است؛ اما در مورد الواح این خصوصیات مد نظر نیست و فقط عملکرد موزون‌سازی مطرح است. برای موزون‌سازی هم عملاً نیازی به اختلاط خاکستر با دیگر اجزای متشکلهٔ ملاط نیست و می‌شود در صورت نیاز به شکل سطحی و پوششی به کار رود. استفاده از خاکستر بدون حضور آهک با وجود مزایایی که دارد، عامل کاهش گیرش و چسبندگی خاک است؛ خصلتی که به کیفیت ملاط استحکام‌بخش پیشنهادی لطمه می‌زند و در اینجا مصرف اختلاط گونهٔ آن به‌مصلحت نیست. بنابراین استفاده از «خاکستر سیس» برای موزون‌سازی، به‌صورت لعاب پوششی توصیه می‌شود. نظر به خاصیت گیرایی خاک رس هم‌زده که همچون بست (نگهدارنده) عمل می‌کند، این لعاب پوششی از درآمیختن ۳۵ درصد حجمی «خاک رس هم‌زده» و ۶۵ درصد حجمی «خاکستر سیس» با نسبت اختلاط بهینهٔ آب (جوشاندهٔ سیس) حاصل می‌شود. پس از پایان عملیات ملاط‌گذاری و اطمینان از خشک شدن کامل آن، آغشته کردن سطح ملاط با لایهٔ نازکی از لعاب پوششی، رنگی روشن‌تر از بدنه الواح به دست می‌دهد تا نواحی ترمیم شده به راحتی تمییز داده شوند. گاه ممکن است عمل لعاب‌گذاری و پوشش‌دهی بیش از یک بار نیاز باشد؛ در این حالت باید صبر کرد تا سطح زیرین کاملاً خشک شود.

سنجش و ارزیابی کیفیت

در ابتدای بحث به ویژگی‌های ملاط پیشنهادی و بهینه‌سازی شده برای ترمیم ترک‌ها و شکاف‌ها اشاره کردیم. تلویحاً به سه خصلت «انقباض حداقلی»، «نفوذپذیری» و «انعطاف‌پذیری» ملاط در جریان آزمایش‌های نمونه‌سازی پرداخته شد. ترک‌خوردگی و جمع‌شدگی (اتقباض حداقلی)، مبنای دستیابی

به نسبت اختلاط بهینه قرار گرفت و برای جای‌گیری بهتر و آسان‌تر ملاط درون ترک‌ها و شکاف‌ها (نفوذپذیری و انعطاف‌پذیری) دو ترکیب متفاوت پیشنهاد گردید. خاصیت «چسبندگی» و «سختی» ملاط، در نحوهٔ ساییدگی و شکستگی آنها نمود می‌یابد. منظور از «چسبندگی»، پیوند بهینهٔ اجزای متشکلهٔ ملاط با یکدیگر و با سطح همجوار و منظور از «سختی»، انسجام و استقامت بهینهٔ ملاط است. مقایسهٔ خاصیت «چسبندگی» و «سختی» ملاط پیشنهادی استحکام‌بخش نسبت به بدنهٔ رسی الواح با انجام آزمایش‌های قراردادی امکان‌پذیر است. برای اندازه‌گیری شماری از خصلت‌های ساختمانی مصالح گلین آزمایش‌های استانداردی وجود ندارد؛ پس برای سنجش و مقایسهٔ ویژگی‌های مورد نظر، باید از آزمون‌های قراردادی بهره گرفت. در این حالت، شاخص‌های ارزیابی کمّی جای خود را به معیارهای کیفی می‌دهند، اما از آن‌جایی که شرایط برای همهٔ نمونه‌ها یکسان است، معیارهای قابل اطمینانی برای سنجش وضعیت غنی‌سازی ملاط هستند.

آزمایش‌های قراردادی هم سو با نیازها و با توجه به راه علاجی که برای رفع ضعف‌ها اندیشیده شده، طراحی می‌گردند تا از طریق آنها بتوان ویژگی‌های قابل انتظار از مصالح بهینه‌سازی شده را مورد سنجش و ارزیابی قرار داد. در مورد ملاط استحکام‌بخش پیشنهادی، ساده‌ترین روش برای سنجش و مقایسهٔ میزان «چسبندگی» و «سختی» نسبت به ملاط پایه، استفاده از آزمون «سایش» و «کشش» است. برای این منظور تهیهٔ نمونه‌های قرصی شکل در اندازه‌های یکسان از ملاط تهیه شده با خاک رس پایه و نیز ملاط استحکام‌بخش پیشنهاد می‌گردد. ملاط‌ریزی درون قالب باید با ویبره شدن همراه باشد تا بافتی فشرده و یک دست ایجاد شود. پس از تهیهٔ ملاط و قالب‌گیری، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت درون قالب نگه داشته می‌شوند. این قالب، برشی از یک لولهٔ پلاستیکی به ارتفاع یک و قطر چهار سانتیمتر است. سپس نمونه‌ها را از درون قالب بیرون آورده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای اتاق نگه می‌دارند. در نهایت نیز نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت دیگر در گرمخانهٔ با دمای ۱۱۰ درجهٔ سانتیگراد حرارت می‌بینند تا کاملاً خشک شوند. برای انجام آزمون سایش، پس از توزین دقیق نمونه‌ها، هر کدام به مدت پنج دقیقه با شرایط و نیروی ثابت بر روی سطح سمباده‌ای کشیده می‌شود و دوباره وزن آن اندازه‌گیری می‌گردد. مقدار وزن کاهش یافته، معیاری برای قضاوت و مقایسهٔ نمونه‌ها خواهد بود (جدول ۹). این آزمایش برای هر نمونه سه بار تکرار می‌شود تا به میانگین قابل اطمینانی برای مقایسهٔ میزان سایش رسید.

جدول۹. مقایسهٔ کاهش وزن نمونه‌ها در آزمون سایش.

نمونه	M1	M2	M3
میانگین کاهش وزن (گرم)	۳/۵	۲/۲	۲/۸

M1	قرص ملاط تهیه شده از خاک رس پایه (در حکم نمونهٔ شاهد)
M2	قرص ملاط تهیه شده از ۸۳ ٪ خاک رس پایه و ۱۷ ٪ خاک رس همزده
M3	قرص ملاط تهیه شده از ۷۱ ٪ خاک رس پایه و ۲۳ ٪ خاک رس همزده و ۶ ٪ لیف سیس

این جدول نشان می‌دهد که کمترین میزان کاهش وزن مربوط به نمونهٔ M2 و بیشترین میزان کاهش وزن مربوط به نمونهٔ M1 است. در حقیقت کاهش وزن نمونهٔ M1 ، ۱/۵۹ برابر بیشتر از نمونهٔ M2 و ۱/۲۵ برابر بیشتر از نمونهٔ M3 است. به تعبیر دیگر، نمونهٔ M2 نسبت به نمونهٔ M1 معادل ۱۵۹ درصد و نمونهٔ M3 نسبت به نمونهٔ M1 معادل ۱۲۵ درصد کاهش وزن کمتری را تجربه کرده‌اند. این بدان معناست که در آزمون سایش، نمونه‌های M2 و M3 به ترتیب عملکرد بهتری نسبت به نمونهٔ M1 داشته‌اند و توانائی عناصر افزودنی پیشنهاد شده برای تقویت و بهینه‌سازی ملاط، مناسب و رضایت‌بخش بوده است.

برای اجرای آزمون کشش، نمونهٔ قرصی شکل بین دو فک نگهدارنده، طوری ثابت قرار می‌گیرد که نیمی از قطر آن بین فک‌ها و نیمی دیگر بیرون از فک‌ها و آزاد باشد. یک سر نیروسنج روی قسمت بیرونی و آزاد قرص قرار می‌گیرد و به سر دیگر آن، آرام آرام وزنه‌هایی آویزان می‌شود. اضافه کردن وزنه‌های ۵۰ گرمی که به طور قراردادی انتخاب شده‌اند تا جایی ادامه می‌یابد که نمونهٔ قرصی شکل، تاب‌آوری خود را از دست بدهد و دچار شکستگی گردد. مقدار وزنی که هر نمونه تحمل می‌کند، معیار قضاوت و مقایسهٔ نمونه‌ها خواهد بود (جدول۱۰). این آزمایش برای هر نمونه سه بار تکرار می‌شود تا به میانگین قابل اطمینانی برای مقایسهٔ میزان بارپذیری رسید.

جدول ۱۰: مقایسهٔ بارپذیری نمونه‌ها در آزمون کشش

نمونه	M1	M2	M3
میانگین بارپذیری (گرم)	۴۰۰	۵۵۰	۶۰۰

M1	قرص ملاط تهیه شده از خاک رس پایه (در حکم نمونهٔ شاهد)
M2	قرص ملاط تهیه شده از ۸۳ ٪ خاک رس پایه و ۱۷ ٪ خاک رس هم‌زده
M3	قرص ملاط تهیه شده از ۷۱ ٪ خاک رس پایه و ۲۳ ٪ خاک رس هم‌زده و ۶ ٪ لیف سیس

این جدول نشان می‌دهد که کمترین میزان بارپذیری مربوط به نمونهٔ M1 و بیشترین میزان بارپذیری مربوط به نمونهٔ M3 است. در حقیقت بارپذیری نمونهٔ M2 ، ۱/۳۷ برابر بیشتر از نمونهٔ M1 و بارپذیری نمونهٔ M۳ ، ۱/۵۰ برابر بیشتر از نمونهٔ M1 است. به تعبیر دیگر، نمونهٔ M۲ نسبت به نمونهٔ M1 معادل ۱۳۷ درصد و نمونهٔ M3 نسبت به نمونهٔ M1 معادل ۱۵۰ درصد بارپذیری بیشتری را تجربه کرده‌اند. این بدان معناست که در آزمون کشش، نمونه‌های M3 و M2 به ترتیب عملکرد بهتری نسبت به نمونهٔ M1 داشته‌اند و توانایی عناصر افزودنی پیشنهاد شده برای تقویت و بهینه‌سازی ملاط، مناسب و رضایت‌بخش بوده است.

با اتمام مراحل فرآوری و سنجش کیفی ملاط استحکام‌بخش پیشنهادی، روش کار برای ملاط‌گذاری به این صورت است که ابتدا تا حد امکان اقدام به پاکسازی فضای ترک‌ها و شکاف‌ها می‌گردد. استفاده از یک دمندهٔ دستی و قلم موی باریک و نرم نقاشی نتیجهٔ مطلوبی به دنبال دارد. سپس جدارهٔ داخلی ترک‌ها با پارالوئید ۵ درصد آغشته می‌شود تا رطوبت ملاط به بدنهٔ رسی الواح نفوذ نکند و منجر به تضعیف بافت رسی و ضعف اتصال ملاط با جدارهٔ ترک‌ها نگردد. زمانی که ملاط اصطلاحاً حالت دو نم به خود گرفت و خیسی آن در کف دست احساس نشد، کمی از ملاط را برداشته و بین دو کف دست حرکت می‌دهیم تا به صورت رشته‌ای درآید. آنگاه با یک میلهٔ باریک پلاستیکی انعطاف‌پذیر شروع به جا دادن ملاط رشته شده در داخل ترک‌ها می‌کنیم. بهتر است عملیات ملاط‌گذاری در چند مرحله انجام شود و پس از هر مرحله، به ملایمت اقدام به فشردن ملاط در ترک‌ها گردد. به این ترتیب هم تراکم بیشتری به دست می‌آید و هم درز بین ملاط با لوح از بین می‌رود. نمونهٔ آزمایشی و تمرینی برای امتحان کردن شیوهٔ حفاظتی ملاط‌گذاری، از بین قطعات آسیب دیده موجود در مخزن موزهٔ هفت تپه

که نشانی از خط و شواهد نگارش ندارند، انتخاب شده است.

حفاظت به روش قاب‌بندی

این روش برای مهار کردن و نگه داشتن الواحی توصیه می‌شود که حالت خردشدگی دارند و قطعات سست و لرزان آنها در حال جدا شدن و گسیختگی هستند، به ویژه در لبه‌ها که از ساختار ضعیف‌تری برخوردارند (شکل۱۱). در این روش، الواح آسیب دیده با ملاط، محصور و احاطه می‌شوند و دور تا دور آنها را ملاط فرا می‌گیرد. بدین طریق قطعات در جای خود تثبیت می‌شوند و امکانی برای جابجایی آنها نیست. چسبندگی مناسب و انقباض حداقلی در حین خشک شدن، دو ویژگی مهمی است که ملاط احاطه‌کننده باید دارا باشد. با در نظر گرفتن وضعیت الواح و کسب تجارب سودمند در حوزهٔ حفاظت میراث گلین، ملاط پیشنهادی برای استحکام‌بخشی گل نبشته‌ها، ترکیبی از اجزای زیر خواهد بود.

جدول۱۱: اجزای تشکیل‌دهندهٔ ملاط پیشنهادی

فرم‌دهنده	قوام‌دهنده	اصلاح‌کننده	پرکننده
خاک رس پایه	خاک رس هم‌زده	جوشاندهٔ سیس	لیف سیس



■ شکل۱۱: یک نمونه گل نبشته که گزینه مناسبی برای حفاظت به شیوهٔ قاب‌بندی است
(مأخذ: بایگانی پایگاه میراث جهانی چغازنبیل و هفت تپه).

برای این روش حفاظت، مراحل آماده‌سازی عناصر متشکله، تعیین درصدهای بهینهٔ اختلاط و سنجش و ارزیابی کیفیت، عیناً مانند حفاظت به روش ملاط‌گذاری است. نسبت اختلاط ۷۱ ٪ خاک رس پایه، ۲۳ ٪ خاک رس هم‌زده و ۶ ٪ لیف سیس که برای روش ملاط‌گذاری، بهینه تشخیص داده شد، در مورد ملاط حفاظتی برای قاب‌بندی نیز صادق است. روش کار به این صورت است که ابتدا یک قاب چوبی مربع شکل در ابعاد بزرگ‌تر از الواح بر روی سطح صافی قرار داده می‌شود. با توجه به هم اندازه بودن تقریبی الواح، معمولاً یک قاب چوبی (شبیه به قالب خشت‌زنی ولی در مقیاس کوچک‌تر) برای همهٔ آنها کفایت می‌کند. ارتفاع یا پهنای قاب چوبی نباید از ضخامت الواح بیشتر باشد، در غیر این صورت، بخشی از خطوط به وسیلهٔ ملاط پوشیده می‌شود. با توجه به ابعاد مشخص الواح که غالباً بیضی شکل بوده و بین ۸ تا ۱۲ سانتی‌متر کشیدگی دارند، بهتر است قاب چوبی به نحوی ساخته شود که فاصلهٔ لبهٔ الواح تا جدارهٔ قاب از هر طرف کمتر از ۴ سانتی‌متر نباشد، زیرا ملاط احاطه‌کننده باید به قدر کفایت اطراف الواح را پر کند. پس از قرار گرفتن قاب چوبی روی سطح صاف، یک ورقه سلفون داخل آن کشیده می‌شود تا جایی که لبه‌های قالب را نیز فرا گیرد. این ورقه، جدا شدن ملاط از قالب چوبی را پس از خشک شدن، بسیار روان و راحت می‌کند و مانع از چسبیدن ملاط به سطح زیرین می‌شود. در مرحلهٔ بعد، لوح مورد نظر وسط قالب گذاشته و ملاط در اطراف آن ریخته می‌شود. این ملاط سپس باید به خوبی تخت و هموار شود. قبل از ملاط‌ریزی لازم است سطح تماس لوح با ملاط با لایه‌ای از پارالوئید ۵ درصد آغشته گردد تا رطوبت ملاط به بدنهٔ رسی الواح نفوذ نکند و منجر به تضعیف بافت رسی و ضعف اتصال ملاط با جدارهٔ الواح نگردد. در حین خشک شدن ملاط، دو تا سه بار به آرامی اقدام به مهره کردن سطح آن می‌شود تا هم تراکم بیشتری حاصل گردد، هم سطح صاف‌تری ایجاد شود، هم ریز ترک‌ها پر شوند و هم درز بین ملاط با بدنهٔ رسی الواح از بین برود. در نهایت و پس از خشک شدن ملاط، قاب چوبی و ورق سلفون جدا می‌گردند و لوح با ملاط تقویتی پیرامون آن تا زمان انجام دادن اقدامات اساسی‌تر در جای مناسب نگهداری می‌شود. نمونهٔ آزمایشی و تمرینی برای امتحان کردن شیوهٔ حفاظتی قاب‌بندی، از بین قطعات آسیب دیدهٔ موجود در مخزن موزهٔ هفت تپه که نشانی از خط و شواهد نگارش ندارند، انتخاب شده است.

جمع‌بندی

استحکام‌بخشی اشیاء و الواح گلین که ساختار ضعیفی دارند، همواره یکی از دغدغه‌های اصلی حفاظت‌گران آثار تاریخی بوده است. ضریب خطرپذیری زیاد در فرآیند استحکام‌بخشی، حفاظت‌گران را واداشته تا جایی که امکان دارد، از این کار پرهیز کنند و در صورتی که ناگزیر به استحکام‌بخشی باشند، حداکثر احتیاط را رعایت کنند. با آنکه هر کدام از روش‌های استحکام‌بخشی (سنتی و مدرن)، علاقه‌مندان و طرفداران خاص خود را دارند، اما نمی‌توان یك دستورالعمل حفاظتی فراگیر را برای این دسته آثار تاریخی تعریف کرد. به فرض اکتفا به همین دو روش موجود، ممکن است در شرایطی، روش سنتی گزینۀ اصلح باشد و در شرایطی دیگر، روش مدرن کارآمد به نظر برسد. در واقع، انتخاب روش استحکام‌بخشی بستگی به وضعیت عمومی اثر، نوع و شدت آسیب و بینش حفاظت‌گر دارد. در کنار این موارد، امکانات و تجهیزات حفاظتی نیز تعیین‌کننده است. استحکام‌بخشی را تنها زمانی می‌توان عقلانی دانست که آخرین راه‌چارۀ حفاظت باشد. توسل به استحکام‌بخشی چنانچه توجیهی باشد برای گریز از مراقبت‌های دائمی که عموم آثار تاریخی خصوصاً الواح گلی بدان نیازمنداند، کاملاً مردود است. در صورتی که بتوان با تثبیت سطحی و موضعی شیء به هدف رسید، قطعاً اشباع پلیمری آن بی‌مورد و نادرست خواهد بود. همچنین اگر الواح از استحکامی نسبی برخوردار باشند، به صرف گلی بودن یا مشاهدۀ تعدادی ریز ترك، یقیناً پخت آنها جایز نیست.

راهبرد و سیاست پژوهشی تحقیق حاضر در این بوده است که «گِل» به عنوان عنصر اصلی شکل‌دهندۀ به الواح باید محور برنامه‌ریزی حفاظتی باشد و جا دارد روش‌هایی را به کار بست که بدون دخل و تصرف عمده و صیانت از اصالت اثر، بتوان حفاظتی متفاوت را با تکیه بر دانش جهانی و تجارب بومی بهینه‌سازی مصالح گلین تجربه کرد. این روش‌ها باید ساده‌تر، انعطاف‌پذیرتر و برگشت‌پذیرتر باشند و در عین حال بتوانند از بین آسیب‌های شایع الواح گلین، دو آسیب عمده را به طور ویژه علاج کنند. «ترمیم ترک‌خوردگی» و «مهار پاشیدگی»، توقعاتی هستند که انتظار می‌رود با این نگرش حفاظتی محقق گردند و بتوان الواح گلی آسیب دیده را مداوا کرد. از این رو حفاظت به روش «ملاط‌گذاری» با دو نسبت اختلاط بهینه، یکی شامل ۸۳ درصد خاک رس پایه و ۱۷ درصد خاک رس هم‌زده برای انسجام ترک‌های کوچک و دیگری شامل ۷۱ درصد خاک رس پایه، ۲۳ درصد خاک رس هم‌زده و ۶ درصد لیف سیس برای انسجام ترک‌های بزرگ و همچنین حفاظت به روش «قاب‌بندی» با همین نسبت اختلاط بهینه برای مهار کردن قطعات از هم گسیخته پیشنهاد گردید. در آزمایش‌های سنجش و ارزیابی کیفیت بهبود عملکردی بین ۱۲۵ تا ۱۵۹ درصد مشاهده شد که نشان‌دهندۀ اثرگذاری

مطلوب ملاط‌های استحکام‌بخش مورد نظر است. این روش‌ها که ممکن است منفرد و یا توأمان به کار بسته شوند، تا زمانی که دانشی کامل‌تر و مطمئن‌تر بروز کند، شرایط حفاظتی قابل قبولی برای الواح گلی رقم می‌زنند.

منابع

- ابراهیمی، افشین (۱۳۹۸). ملاط گلی غنی شده و خشت‌های نوین ارتقاء یافته با فرآورده‌های بوم‌آورد برای اقدامات حفاظتی ارگ بم. رسالۀ دکتری در مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی. دانشگاه هنر اصفهان. دانشکده حفاظت و مرمت. منتشر نشده.
- ام ، جی، لانت. (۱۳۶۰). خشت‌های تثبیت شده برای ساختمان. ترجمه فروز روشن‌بین. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. شماره ۱۳. ۹.
-باتر، مسعود. (۱۳۸۰). بررسی الواح گلی هفت تپه. پایگاه میراث جهانی چغازنبیل و هفت تپه. ۱۶ – ۱۴.
-برزین، پروین. (۱۳۴۴). "مسجد تاریخانه، مسجدی از قرن ۲ هجری". مجله هنر و مردم. شماره ۳۷.
-پرهیزکار، طیبه. (۱۳۷۷). مواد افزودنی روان‌کننده و فوق روان‌کننده. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. نشریه شماره ۲۷۵. چاپ اول. ۳۱ .
-پیرنیا، محمد کریم (۱۹۷۲). شرایط اقلیمی کویر و مسائل مربوط به بناهای خشتی. مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین‌المللی حفاظت از بناهای خشتی (ایران، یزد). تهران: سازمان ملی حفاظت آثار باستانی.
-پیرنیا، محمد کریم (۱۳۶۳). شرایط اقلیمی کویر و مسائل مربوط به بناهای خشتی. معماری ایران (۸۴ مقاله به قلم ۳۳ پژوهشگر ایرانی). گردآورنده آسیه جوادی. تهران: انتشارات خوشه. جلد دوم.
-تقوی نژاد دیلمی، محمدرضا. (۱۳۶۶). معماری، شهرسازی و شهرنشینی ایران در گذر زمان. تهران: انتشارات یساولی.
-ثقفی، جواد. (۱۳۷۸). "خاك در انتظار تحول تکنیك‌های سنتی/ انسان ، خاك و ساختمان". مجموعه معماری خاك. بنیاد پژوهشی کویر. جلد اول. ۱۹ .
-ثقفی، محمد جواد (۱۳۸۱). "ارتباط محیط با ناسازگاری مصالح همجوار و صرفه‌جوئی از انرژی در ساختمان". مجله علمی معماری و شهرسازی. تهران: دوره چهارم. شمارگان ۲۳ و ۲۲.
-جی، آر، کد (۱۳۵۸). خشت‌های تثبیت شده با آهك. ترجمه فروز روشن‌بین. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. شماره ۳ . ۷ .
-حاکمی، علی (۱۳۲۸). حفاری در تپه موشلان اسماعیل آباد ساوجبلاغ، آثار و اشیاء چهار هزار سال ق . م. سالنامه کشور ایران. سال چهارم.
-حاکمی، علی. (۱۳۵۱). راهنمای نمایشگاه دشت لوت (شهداد). تهران: مرکز باستان‌شناسی ایران.
-خدابنده، ناهید. (۱۳۷۵). تثبیت خاك‌های مناطق گیلان و زنجان (بهبود عملیات بنائی با آجر و بررسی ملاط‌های متداول در ایران و تعیین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آنها). تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. ۵ .
-دانش دوست، یعقوب (۱۹۷۲). نحوه آسیب‌پذیری بناهای خشتی و تحقیق برای مرمت. مجموعه مقالات

اولین کنفرانس بین‌المللی حفاظت از بناهای خشتی (ایران، یزد). تهران: سازمان ملی حفاظت آثار باستانی.
-رمضانیان‌پور، علی اکبر. (۱۳۷۴). پوسته برنج و خاکستر آن در صنعت ساختمان. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. شماره ۲۱۸ . چاپ اول. ۴۰ .
-زمرشیدی، حسین. (۱۳۷۴). معماری ایران، اجرای ساختمان با مصالح سنتی. تهران: انتشارات زمرد. چاپ اول.
-س، و، بیول. (۱۳۷۵). پیدایش و طبقه‌بندی خاك. ترجمه دکتر غلامحسین حق نیا و مهندس امیر لکزیان. مشهد: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
-سامی، علی. (۱۳۳۱). آثار باستانی جلگه مرودشت از پیش از تاریخ تا ادوار اسلامی. تهران: چاپ مصطفوی.
-سامی، علی. (۱۳۵۴). "ویرانه‌های شهر باستانی استخر". مجله هنر و مردم. دوره ۱۴. شماره ۱۵۸ .
-سرشکی رفیعی، بیژن رفیع‌زاده، ندا رنجبر و علی محمد کرمانی (۱۳۸۲). فرهنگ مهرازی (معماری) ایران. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. شماره گ ۳۶۲.
-شراتو، امبرتو. (۱۳۴۲). "گزارش هیئت باستان‌شناسی ایتالیا ۱۳۴۲". ترجمه دکتر هومان خواجه نوری. گزارش علمی. سخن ۷ . دوره ۴۲.
-فلامکی، محمد منصور. (۱۳۵۵). "در جستجوی تداوم اندیشه و تبادل تجربه/ از اولین تا دومین مجمع جهانی خشت خام". مجله هنر و معماری. سال ۸ . شمارگان ۳۸ و ۳۷ .
-فلامکی، محمد منصور. (۱۳۶۷). "هماهنگی‌های دیروز و نارسائی‌های امروز". مجله ساختمان. شماره هفت.
-فلامکی، محمد منصور. (۱۳۸۰). باززنده‌سازی بناها و شهرهای تاریخی. تهران: انتشارات دانشگاه تهران. چاپ چهارم.
-فلامکی، محمد منصور. (۱۳۵۵). "موقعیت مسئله مجموعه معماری خشتی گلی ایران". مجله هنر و معماری. شمارگان ۳۸ و ۳۷ .
-کارگر سرفراز، علی اکبر (۱۹۷۲). نظری به قدیمی‌ترین بناهای خشتی دامغان. مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین‌المللی حفاظت از بناهای خشتی. ایران. یزد.
-کارگر سرفراز، علی اکبر. (۱۳۷۴). مجموعه دروس باستان‌شناسی و هنر دوران تاریخی. تهران: نشر محیا ، چاپ اول.
-کسائی، رضا (۱۹۷۲). نگاهی به بناهای خشتی ایران. مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین‌المللی حفاظت از بناهای خشتی (ایران، یزد). تهران: سازمان ملی حفاظت آثار باستانی.
-کلایس، ولفرام. (۱۳۴۸). "حفاری در دژ اورارتوئی بسطام واقع در آذربایجان غربی". مجله باستان شناسی و هنر ایران.
-کلایس، ولفرام. (۱۳۷۵). "معماری اورارتوئی". ترجمه فرامرز نجه سمیعی. مجله اثر. تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور. شمارگان ۲۷ و ۲۶.
-کلایس، ولفرام. (۱۳۶۶). قلاع و معماری. ترجمه علیرضا مهینی. به کوشش محمد یوسف کیانی. معماری ایران دوره اسلامی. تهران.
-کلایس، وافرام. (۱۳۶۴). "کاروانسرای خشتی گلی دوره قاجار در کنار کاروانسرای دیر". مجله اثر. تهران: سازمان میراث فرهنگی. شمارگان ۱۱ و ۱۰.

-کیانی، محمد یوسف. (۱۳۶۵). شهرنشینی و شهرسازی از آغاز تا هزاره ۵ ق . م . نظری اجمالی به شهرنشینی و شهرسازی در ایران. تهران.
-کیانی، محمد یوسف. (۱۳۷۴). تاریخ هنر معماری ایران در دوره اسلامی. تهران: انتشارات سمت. چاپ اول.
-کیانی، محمد یوسف. (۱۳۷۶). تزیینات وابسته به معماری ایران دوره اسلامی. تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور. چاپ اول.
-گدار، آندره. (۱۳۱۲). "تاریخانه دامغان قدیمی‌ترین مسجد ایران".
-گدار، آندره و ماکسیم سیرو. (۱۳۶۵). آثار ایران. ترجمه ابوالحسن سروقد مقدم. جلد اول. انتشارات آستان قدس
-گیرشمن، رومن. (۱۳۴۵). هنر ایران (ماد و هخامنشی). ترجمه عیسی بهنام. دانشگاه ملی.
-گیرشمن، رومن. (۱۳۷۳). چغازنبیل. ترجمه اصغر کریمی. جلد اول. تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور. چاپ اول.
-گیرشمن، رومن. (۱۳۷۹). سیلك کاشان. ترجمه اصغر کریمی. جلد اول. تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.
-گیرشمن، رومن. (۱۳۴۷). "مساجد ایران از ابتدای دوران اسلامی". ترجمه دکتر عیسی بهنام. بررسی‌های تاریخی. سال سوم. شماره ۵. ۸۱-۷۶.
-ماجدی اردکانی، محمد حسین. (۱۳۷۵). روش اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاك رس. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
-ماجدی اردکانی، محمد حسین. (۱۳۷۶). اندودکاری با مصالح آمیخته. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. نشریه شماره ۲۶۷. زمستان ۱۳۷۶. ۵ و ۲۷ .
-ماجدی اردکانی، محمد حسین. (۱۳۷۶). ساخت سیمان بنائی با پوسته برنج. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. نشریه شماره ۲۵۱. چاپ اول.
-مشکوتی، نصرت ا... (۱۳۶۳). نظری به تاریخ باستان‌شناسی کاشان. معماری ایران (۸۴ مقاله به قلم ۳۳ پژوهشگر ایرانی). گردآورنده آسیه جوادی. جلد اول. تهران: انتشارات خوشه.
-مشکوتی، نصرت ا... . (۱۳۴۹). فهرست بناهای تاریخی و اماکن باستانی ایران. تهران: نشر سازمان ملی حفاظت آثار باستانی ایران.
-مقتدر، محمدرضا. (۱۳۴۴). "کاهگل و سیمای شهر ایرانی". مجله هنر و مردم. شماره ۳۵.
-مؤسسه بین المللی تکنولوزی خانه‌سازی کالیفرنیا. (۱۳۵۷). تولید خشت‌های تثبیت شده با امولیسیون قیری. ترجمه مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. شماره ۱۹. ۶ .
-نفیسی، مهدی. (۱۳۵۴). "خشت آسفالتی". نشریه انجمن ملی نفت ایران. شماره ۶۰ . ۲۱.
-نگهبان، عزت ا... . (۱۳۷۶). مروری بر پنجاه سال باستان‌شناسی ایران. تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور. چاپ اول.
-یوکیلهتو، یوکا. (۱۳۸۷). تاریخ حفاظت معماری. ترجمه محمد حسن طالبیان و خشایار بهاری. تهران: نشر روزنه. چاپ اول.

منابع لاتین

-Albini, Marco. (1980). Mud Brick Buildings. The Masmak Fortress in Riyadh Saudi Arabia. General Criteria of Restoration. The 3 Th International Symposium on Mud Brick (Adobe) Preservation. Turkey. Ankara. Odtu Mimarlik Fakultesi. pp 119-138.

-Baradan, B. (1993). 80 Pozzolanic Plasters for Adobe Preservation. Conservation of Stone and Other Material. Paris. UNESCO. pp 652-656.

-Bultinck, Gilbert. (1972). A Note on The Preservation And Consolidation of Mud Brick Work. The First International Conference on the Conservation of Mud-Brick Monuments. Iran. Yazd. ICCROM. pp 186-199.

-Chiari, Giacomo. (1983). Characterization of Adobe as Building Material, Preservation Techniques. International Symposium and Training Workshop on the Conservation of Adobe. Peru. Lima – cusco. UNDP - UNESCO.

-Chiari, Giacomo. Rigoni, Marisa and Joffroy, Thierry. (1993). Ethyl Silicate Treatments and Humidity. The 7 Th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture. Portugal. Lisboa. Silves.

-Cirillo, Atzeni. Luigi, Massidda and Ulrico, sanna. (1993). Technological Properties of Earth Based Construction Materials Treated with Hydraulic Cement or Acrylic Polymer. The 7 Th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture. Portugal. Lisboa. Silves.

-Crosby, Anthony. (1976). Preliminary Report on the Preservation Project at Tumacacori National Monument. The 2 Th International Conference on the Conservation of Mud-Brick Monuments. Yazd, Iran. ICCROM.

-Crosby, Anthony. (1978). A Preservation Monitoring System at Tumacacori National Monument. Bulletin of the Association for Preservation Technolog. Vol 10. No 2. pp 47-76.

-Dinu, Moraru. Dima Lucian, Stefan and Liviu, Sandru. (1993). The Consolidation of Earth Historic and Archaeological Buildings by Means of Electrokinetic Injection with a Solution of Lime, Benthonite. The 7 Th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture. Portugal. Lisboa. Silves.

-Engelking Keeling, Segismundo and Mooser, Federico. (1993). The Use of "Tepetate" in Traditional Buildings in the Mexico City Metropolitan Region. The 7 Th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture. Portugal. Lisboa. Silves.

-Feilden, Bernard. (1979). Examples of Appropriate and Inappropriate Technology in Conservation of Cultural Poperty. Parks Secondary Source Citation Title of Source: World Cultural Heritage Issue Identification Data: 12 Pagination: 9 Publication Date: 19780000, Vol 4. No 2.

pp 21-22.
-Ferm, R. (1990). A New Adobe Preservation Technique. The 6 th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture. U.S.A. New Mexico. Marina Del Rey: Getty Conservation Institute.
-Galdieri, Eugenio. (1980). Advanced Methods in Strengthening Ancient Structure. Ismeo's Special Series of its Restoration Centre. Vol 1980. pp 19-23.
-Giorgio, Torraca. (1970). An International Project for The Study of Mud Brick Preservation. Newyork Conference on Conservation of Stone and Wooden Objects. ICCROM.
-Gullini, Giorgio. Torraca, Giorgio and Chiari, Giacomo. (1972). Report on Mud Brick Preservation. The First International Conference on the Conservation of Mud-Brick Monuments. Iran. Yazd. ICCROM. pp 259-286.
-Helmi, Fatma. (1990). Deterioration and Conservation of Mud Brick in Egypt. The 6 the International Conference on the Conservation of Earthen Architecture. U.S.A. New Mexico. Marina Del Rey: Getty Conservation Institute.
-Houben, Hugo and Guillaud, Hubert. (1994). Earth Construction. France. CRATerre – EAG.
-Koob, Stephen. Rogers, Mark and Sams, Kenneth. (1990). Preserving the Eighth Century B.C. Mud Brick Architecture at Gordian, Turkey: approaches to conservation. The 6 th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture. U.S.A. New Mexico. Marina Del Rey: Getty Conservation Institute. pp 289-294.
-Lewin, Seymour and Schwartzbaum, Paul. (1983). Investigation of the Long - Term Effectiveness of an Ethyl Silicate - Based Consolidant on Mud Brick. International Symposium and Training Workshop on the Conservation of Adobe. Peru. Lima – cusco. UNDP - UNESCO. pp 77-81.
-M, Siroux. (1972). Monuments of the Iranian Plateau Built in Unbaked Clay. The First International Conference on the Conservation of Mud-Brick Monuments. Iran. Yazd. ICCROM. pp 205-214.
-Maria, Isabel and Beas Guerrero De Luna. (1993). Consolidation of Traditional Plasters: a Laboratory Research. The 7 Th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture. Portugal. Lisboa. Silves. pp 401-416.
-Matera, Frank and Bass, Angelyn. (1994). The Preservation of Architectural Plasters in Earthen ruins. The Preservation of Architectural Plasters in Earthen Ruins. CRM Bulletin. Vol 17. No 4. pp 21-26.
-Mendonca, Mario. Santiago, Cybele and Affonseca, Silvia. (1990). The Study of Accelerated Carbonation of Lime - Stabilized Soils. The 6 the International Conference on the Conserva-

tion of Earthen Architecture. U.S.A. New Mexico. Marina Del Rey: Getty Conservation Institute. pp 166-170.
-Oates, David. (1990). Innovations in Mud Brick: Decorative and Structural Techniques in Ancient Mesopotamia. World archaeology (0043-8245). Vol 21. No 3. pp 388-406.
-Pigott, Vincent and Butterbaugh, Darrel. (1978). A Program in Experimental Mud Brick Preservation at Hasanlu Tepe. journal of Persian Studies, Vol 16. No 1. pp 161-167.
-R, Munnikendam. (1972). Conservation of Mud Brick by Chemical Methods. The First International Conference on the Conservation of Mud-Brick Monuments. Iran. Yazd. ICCROM. pp 109-115.
-Samacanez Argumedo, Roberto. (1981). The Restoration of Mud Brick Structures in Historical Monuments of the Andean Region of peru. Appropriate Technologies in the Conservation of Cultural Properties (Technical Handbooks for Museums and Monuments). Vol 7. Paris. UNESCO. pp 83-113.
-Schroeder, Horst. (1993). Traditional buildings of lime-tuff in Thuringia, Germany. The 7 Th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture. Portugal. Lisboa. Silves.
-Selwitz, Charles and Caperton, Thomas. (1994). Chemical Stabilization of Adobe in the Restoration of the Montano Store. APT Bulletin.
-Selwitz, Charles. (1995). Saving the Fort Selden Ruins: the Use of a Composite Blend of Chemicals to Stabilize Fragile Historic Adobe. Conservation and Management of Archaeological Sites (1350-5033) Vol 1. No 2. pp 109-116.
-Sengupta, R. (1980). Restoration of Proto - Historic Ruins of Adobe Lothal, India. The 3 Th International Symposium on Mud Brick (Adobe) Preservation. Turkey. Ankara. Odtu Mimarlik Fakultesi.
-Sramek, Jiri and Losos, Ludvik. (1990). Outline of Mud Brick Structures Conservation at Abusir, Egypt. The 6 the International Conference on the Conservation of Earthen Architecture. U.S.A. New Mexico. Marina Del Rey: Getty Conservation Institute. pp 449-454.
-Stronach, David. (1972). Experiment in Mud Brick Conservation at Tappeh Nush E jan .The First International Conference on the Conservation of Mud-Brick Monuments. Iran. Yazd. ICCROM. pp 71-80.
-Taylor, Michael Romero. (1987). Fort Selden Test Wall Status Report. The 5 the International Meeting of Expert on the Conservation of Earthen Architecture. Italy. Rome. CRATerre. 22-23/x/1987. pp 91-102.
-UNCHS. (1981). Construction With Sisal Cement. Technical Notes. Nairobi. Habitat.
-Vargas, Julio. Heredia, Emesto. Bariola, Juan and Mehta, Povindar. (1987). Preservation of

Adobe Constructions Rainy Areas. The 5 th International Meeting of Experts on the Conservation of Earthen Architecture. Italy. Rome. Grenoble: Imprimerie Guirimand. pp 103-110.
-Zador, M. (1985). New Results of Technical Research Works in the Field of Restoration of Monuments in Hungary. Wiener Berichte über Naturwissenschafi in Der Kunst. Vol 2-3. pp 40-51.